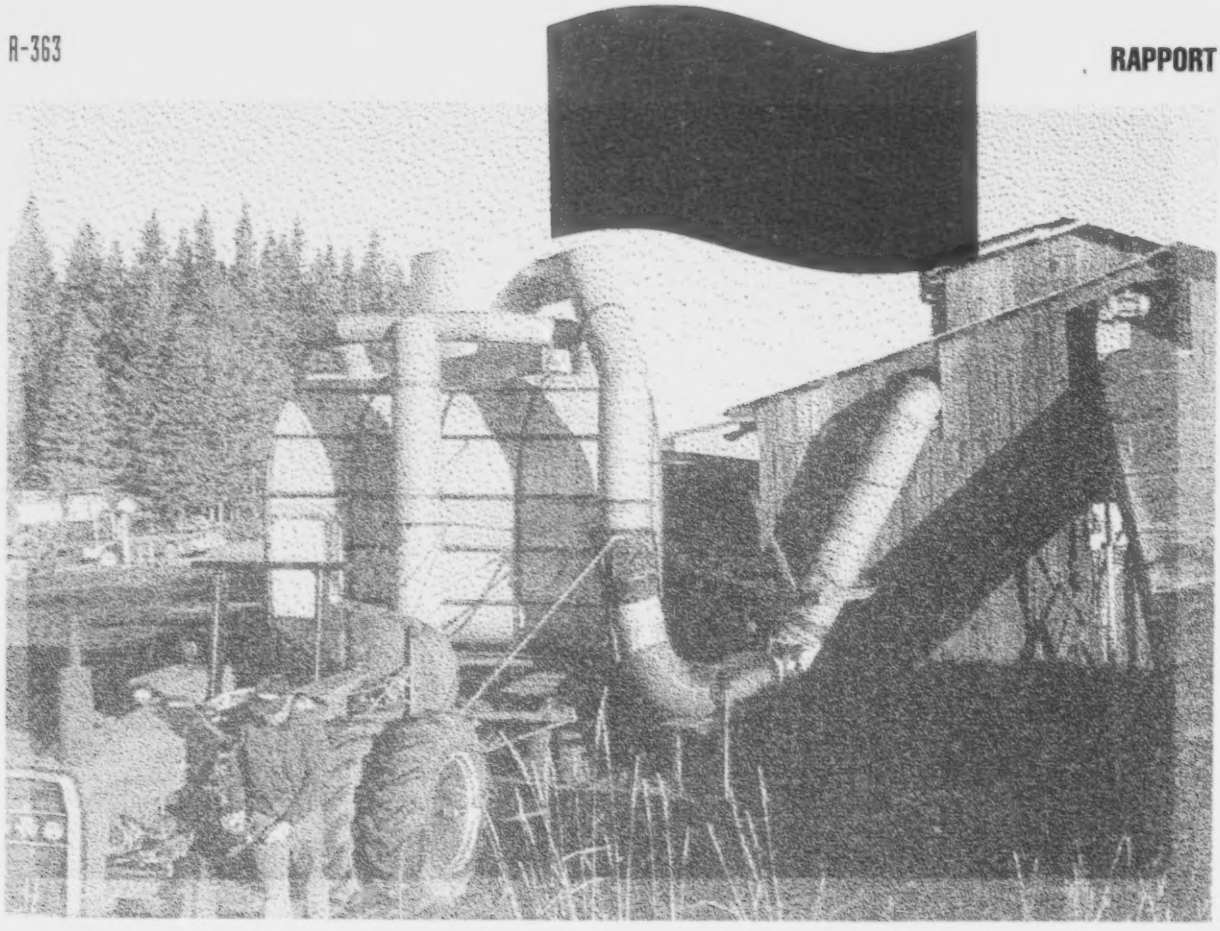
ÉTUDES ET RECHERCHES

Santé respiratoire des travailleurs et qualité de l'air des tourbières du Québec possédant des systèmes de dépoussiérage

Caroline Duchaine
Yvon Cormier
Anne Mériaux
Pascal Pageau
Madeleine Chabot
Evelyne Israël-Assayag
Nicole Goyer
Yves Cloutier
Louis Lazure

R-363

RAPPORT



irsst

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES *travaillent* pour vous !

MISSION

- Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.
- Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.
- Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

POUR EN SAVOIR PLUS...

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.
www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CSST.
Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2004
ISBN : 2-551-22456-X
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1551
Télécopieur : (514) 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, mars 2004

Santé respiratoire des travailleurs et qualité de l'air des tourbières du Québec possédant des systèmes de dépoussiérage

ÉTUDES ET RECHERCHES

Caroline Duchaine[1,2], Yvon Cormier[1], Anne Mériaux[1], Pascal Pageau[1], Madeleine Chabot[1] et Evelyne Israël-Assayag[1]

[1]Centre de recherche de l'Hôpital Laval, Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de l'Université Laval

[2]Département de biochimie et de microbiologie de l'Université Laval

Nicole Goyer, Yves Cloutier et Louis Lazure
Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail

RAPPORT

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca

Cette publication est disponible en version PDF sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé exécutif ____ *1*

Contexte ____ 1

Approche expérimentale ____ 2

Aperçu des résultats et discussion ____ 3

Conclusions et recommandations ____ 5

1. Introduction ____ *7*

1.1 Microflore de la tourbe et autres éléments ____ 8

1.2 Problèmes de santé reliés à la manipulation de la tourbe ____ 9

1.3 Mesures prises pour améliorer la qualité de l'air des tourbières ____ 10

1.4 Étude de l'empoussièrement et de la ventilation des usines ____ 11

2. Objectifs de recherche ____ *12*

2.1 Aérobiologie et santé (volet 1) ____ 13

2.1.1 Étudier l'environnement ____ 13

2.1.2 Étudier la santé des travailleurs des tourbières du Québec ____ 13

2.2 Empoussièrement et ventilation des usines (volet 2) ____ 14

2.2.1 Étudier l'empoussièrement du milieu de travail ____ 14

2.2.2 Mesurer l'exposition des travailleurs à la poussière inhalable ____ 14

2.2.3 Étudier la ventilation ____ 14

3. Aérobiologie et santé (volet 1) ____ *15*

3.1 Matériel et méthodes ____ 16

3.1.1 Choix de tourbières ____ 16

3.1.2 Description du cheminement de la tourbe et choix des sites d'échantillonnage 19

3.1.3 Méthodes d'échantillonnage et de traitement des échantillons d'air et de tourbe 21

3.1.4 Évaluation des travailleurs 27

3.1.5 Analyse statistique 29

3.2 Résultats 31

3.2.1 Environnement 31

3.2.2 Santé 42

3.3 Discussion 47

4. Empoussièrement et ventilation (volet 2) 50

4.1 Matériel et méthodes 51

4.1.1 Empoussièrement et granulométrie 51

4.1.2 Ventilation 52

4.2 Résultats 53

4.2.1 Empoussièrement du milieu de travail et dosage du quartz 53

4.2.2 Exposition des travailleurs 55

4.2.3 Ventilation 58

4.3 Discussion 58

4.3.1 Empoussièrement du milieu de travail 58

4.3.2 Exposition des travailleurs 59

4.3.3 Ventilation 60

5. Conclusions et recommandations 70

6. Remerciements 73

7. Liste des articles scientifiques et communications 75

7.1 Articles publiés, soumis et en préparation 76

7.2 Communications 76

8. Références 78

Figures 82

Annexe 1 : Étude préliminaire et questionnaire 107

Annexe 2 :Photos des systèmes de dépoussiérage 121

105-00114/

Résumé exécutif

Contexte

Certains problèmes de santé reliés à la manipulation de la tourbe sont bien connus. On parle de maladie reliée à la présence de *Sporothrix schenckii*. La présence de *Mycobacterium xenopi* et *M. fortuitum* pourrait conduire à des infections aux reins et *M. chelonae* et *M. gordonae* pourraient être associées à l'alvéolite allergique.

Si ces problèmes inhérents à la manipulation de la tourbe sont connus, aucune étude ne fait état de la microflore de l'air des tourbières et de l'exposition des travailleurs aux différents contaminants aériens comme les poussières organiques, les moisissures, bactéries, et autres produits pouvant causer des allergies ou des sensibilisations. L'effet sur la santé respiratoire des travailleurs n'est documenté, jusqu'à présent, que dans une seule étude publiée (Cormier, 1990) qui avait démontré que l'exposition à la poussière de tourbe et aux micro-organismes présents dans ce substrat était responsable d'une augmentation de la toux chronique. D'autre part, notre étude préliminaire décrit des cas d'alvéolite allergique dans une usine de transformation de la tourbe où nous avons trouvé une haute prévalence de réactions sériques et alvéolaires à deux antigènes identifiés dans la poussière de tourbe manipulée par les travailleurs identifiant un nouvel environnement pouvant causer l'alvéolite allergique.

À la lumière de ces résultats, il devenait donc intéressant de savoir si cette prévalence était spécifique aux travailleurs de cette usine ou si elle était étendue à l'ensemble de l'industrie de transformation de la tourbe au Québec. Il devenait donc impératif de connaître la nature et le taux de micro-organismes présents dans l'air respiré par les travailleurs de tourbières du Québec et de documenter les atteintes respiratoires et les risques encourus par l'ensemble des travailleurs de cette industrie.

Par ailleurs, les usines de transformation de la tourbe sont des environnements très poussiéreux et des analyses effectuées par l'IRSST ont démontré que 76,2% des quantités de poussière retrouvées dans l'air étaient supérieures au VEMP (valeur d'exposition moyenne pondérée) qui est de 10mg/m^3. D'autre part, 65,7% des analyses ont démontré plus de 200% de la VEMP. Il est donc apparu intéressant de connaître la nature chimique de la poussière de tourbe qui peut contenir du quartz et sa granulométrie pour en évaluer la toxicité. L'étude de la ventilation quant à elle permet d'identifier les équipements de captage à la source les plus performants.

Approche expérimentale

Pour atteindre les objectifs de notre étude qui étaient de quantifier et qualifier l'air auquel les travailleurs sont exposés et d'évaluer les risques pour la santé de ces travailleurs, nous avons recruté 14 usines de transformation de la tourbe possédant des systèmes de dépoussiérage. Ces entreprises sont réparties dans diverses régions administratives du Québec et sont divisées en usines saisonnières dont les travailleurs ne sont en contact avec la tourbe que durant l'été (11 entreprises), et en usines actives toute l'année (3 annuelles).

Dans chacune des 14 usines, nous avons analysé la qualité de l'air à différents sites de travail pour en déterminer la charge microbiologique (compte de bactéries et compte et identification de moisissures). Comme sites de travail investigués nous avons choisi les endroits où les travailleurs étaient présents soit toute la journée (ensachage), soit sporadiquement dans la journée (tamisage). Tous les échantillonnages ont été faits pendant la journée de travail à heure fixe soit 8h, 11h et 13h. Les méthodes classiques d'échantillonnage de l'air ont été utilisées: des Andersen six-étages pour particules viables (AMS) chargés de différents milieux ont servi au recouvrement des moisissures et bactéries mésophiles et thermophiles et des AGI-30 (all-glass liquid impinger-30) remplis de 20 ml d'eau physiologique stérile ont également été utilisés. Les liquides de barboteurs ont été étalés par dilutions sériées sur les différents milieux utilisés pour les Andersen. Un témoin extérieur, prélevé de 1 à 5km en amont de l'usine par rapport au vent, a également été effectué, pour juger de la charge en microorganismes de l'environnement extérieur à l'usine.

En même temps que les échantillonnages de l'air nous avons effectué des analyses de la tourbe traitée aux mêmes sites que les échantillonnages d'air pour en connaître la charge microbiologique (compte de bactéries et compte et identification de moisissures) et éventuellement établir une relation entre les microorganismes retrouvés dans l'air et ceux présents dans la tourbe. Par ailleurs des comptes de bacilles acido-alcoolo résistants ont également été faits sur la tourbe.

D'autre part, parallèlement à la qualité microbiologique de l'air, nous avons mesuré la quantité de poussière générée par la manipulation de la tourbe aux mêmes sites de prélèvement que pour l'analyse de la microflore de l'air. Deux types de prélèvements ont été faits soit en zone respiratoire sur les travailleurs et en poste fixes, le plus près possible de la zone de travail. Nous avons mesuré la poussière inhalable et la poussière totale respectivement à l'aide de capteur IOM et de capteur Accu-Cap. La poussière respirable et la teneur en quartz ont été mesurées avec un capteur Accu-Cap relié à un cyclone Dorr-Oliver, l'analyse du quartz ayant été faite par diffraction aux rayons X. La granulométrie de la poussière a été mesurée grâce aux impacteurs en cascade de type Marple 290 modifié.

Une évaluation des paramètres aérauliques a été faite afin de documenter les conditions de ventilation existantes lors des échantillonnages de contaminants. Cette évaluation n'a pu être réalisée que dans 6 des 13 établissements visités. Les débits d'air dans les

conduits ont été calculés à partir de la détermination des champs de vitesse d'air. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un anémomètre modèle 8357 de TSI ou d'un tube de Pitot . Le nombre et la position des points de mesure ont été établis à partir des recommandations indiquées dans le manuel Industrial Ventilation. Afin de ne pas perturber les activités de production, les mesures ont été effectuées, de façon générale, en dehors des périodes de production.

La qualité, la quantité et la granulométrie de la poussière étant documentée nous avons voulu évaluer l'état de santé des travailleurs en contact avec cet environnement pour connaître les risques à la santé de ces travailleurs. Cent quatre-vingt-neuf travailleurs ont volontairement participé à l'étude et ont répondu au questionnaire standardisé de l'American Thoracic Society adapté pour les tourbières. Ils ont subi un test de fonctions respiratoires à l'aide d'un vitalographe pour détecter les atteintes fonctionnelles, un test d'allergie avec le système « Phaset » qui permet de détecter la présence d'atopie pouvant être causée, entre autre, par l'exposition aux nombreux microorganismes de la tourbe. Une ponction veineuse a été effectué pour faire les dosages des IgG spécifiques dirigées contre les moisissures qui ont été isolées et prédominent dans l'atmosphère de travailleurs. Les marqueurs sériques d'inflammation ont également été mesurés. Il s'agit du niveau d'Il-6 et de TNF mesurés par Elisa et des niveaux de protéine C réactive mesuré par le test N CRP haute sensibilité à l'aide du néphélomètre de Behring(BN).

L'analyse statistique visait dans un premier temps à comparer la charge microbiologique des usines saisonnières par rapport aux usines annuelles et nous avons utilisé le modèle d'analyse de variance à un facteur à deux niveaux autant pour l'analyse de l'air que pour la tourbe elle-même. Pour mesurer la dépendance entre les différents paramètres, nous avons utilisé le coefficient de corrélation de Pearson. Le volet santé des travailleurs cherchait à établir s'il y avait une relation entre les contaminants et les différents taux d'anticorps, les symptômes et les fonctions respiratoires chez les travailleurs des tourbières. La même approche cherchait à établir une différence entre les travailleurs des usines saisonnières et les usines annuelles. L'analyse des données s'est faite en utilisant un modèle d'analyse de variance à un facteur. Pour les fonctions respiratoires, afin de s'assurer que le tabagisme n'interférait pas dans la comparaison des paramètres, l'analyse de variance à un facteur a été refaite en utilisant ce paramètre comme covariable. Pour les variables catégoriques ou nominales représentées à l'aide d'un tableau de contingence, nous avons utilisé le test exact de Fisher. La seconde approche fut de mesurer l'association entre les paramètres des tests de fonctions et les variables décrivant l'environnement. C'est le coefficient de corrélation de Pearson qui a été utilisé pour mesurer le niveau d'association. L'ensemble des résultats a été analysé à l'aide du progiciel SAS version 8.2.

Aperçu des résultats et discussion

Les usines sont fortement contaminées par les bioaérosols et les usines saisonnières sont plus contaminées que les usines annuelles. En effet, les concentrations de moisissures et de poussière sont significativement plus élevées dans les usines saisonnières tous sites

confondus que dans les usines annuelles (p=0,0217 et p=0,0287) avec des concentrations de moisissures pouvant aller jusqu'à $5,58x10^7$ UFC/m^3. Si on compare les sites, l'opération de tamisage génère plus de moisissures et de poussières dans l'air que l'ensachage (p=0,0016 et p=0,0071); au tamisage, nous avons retrouvé jusqu'à $1,02x10^8$ UFC/m^3 de moisissures et 441,7 mg/m^3 de poussière. Il faut cependant noter que le site de tamisage ne comporte aucun système de dépoussiérage. À l'ensachage, cependant on peut également retrouver jusqu'à $2,38x10^7$ UFC/m^3 de moisissures et 359,6 mg/m^3 de poussière. Il existe une corrélation entre les quantités de poussière retrouvée et la concentration de moisissures dans l'air, ce qui appuie l'idée que plus il y a de poussière dans l'air plus l'atmosphère est contaminée par les moisissures. Le fait que la quantité de poussière retrouvée dans les usines annuelles est plus basse que dans les usines saisonnières confirme que les systèmes de dépoussiérage y sont plus efficaces que dans les usines saisonnières généralement moins modernes.

L'analyse de microorganismes de la tourbe démontre de fortes quantités de moisissures avec des concentrations de moisissures voisines de 10^7 par gramme de tourbe sèche et on constate que le tamisage n'élimine pas de moisissures puisqu'il n'y a pas de différence significative entre la tourbe récoltée et la tourbe ensachée. On retrouve également de fortes concentrations de bacilles acido-alcoolo résistants avec de concentrations qui oscillent autour de 10^6 UFC/gramme de tourbe sèche, 2 tourbières annuelles ayant les concentrations les plus élevées. Contrairement à ce qu'on aurait pu croire, il n'y a pas de différence significative entre les deux types d'entreprises (saisonnières et annuelles) en ce que a trait à la concentration en microorganismes de la tourbe. Aucune corrélation air-tourbe n'a pu être démontrée.

Dans l'ensemble on retrouve dans l'air la même biodiversité que dans la tourbe, *Penicillium* spp. et *Torulomyces* spp représentant les genres majoritaires et occupant respectivement 52% et 22% du total des moisissures dans l'air. Parmi les espèces les plus fréquemment isolées dans l'air on retrouve *P. citreonigrum, P. janthinellum, P miczinskii, P. restrictum*. Ces dernières ainsi que *Torulomyces* spp. ont servi à tester la sensibilisation des travailleurs.

En présence d'un tel environnement, nous étions en droit de nous demander si les travailleurs couraient un risque pour leur santé et si ce risque était identique pour les deux types d'industrie (saisonnière et annuelle). En effet, les travailleurs des usines annuelles ont une prévalence de sensibilisation plus élevée que ceux des usines saisonnières (p=0,03). Malgré le fait que les usines saisonnières sont plus contaminées que les annuelles. Ceci nous laisse supposer que la durée de l'exposition a un effet plus marqué que le niveau d'exposition sur la santé respiratoire. Toutefois, dans les deux types d'usines, les niveaux de bioaérosols sont très élevés. Cependant, l'effet protecteur habituellement observé chez les fumeurs est perdu chez les travailleurs des usines annuelles bien que l'intensité des réactions ait tendance à être plus grande chez les non-fumeurs. Nous croyons qu'une exposition intense et continue aux antigènes pourrait être responsable de la sensibilisation des fumeurs et la grande prévalence de sensibilisation dans ces usines. D'autre part, la présence d'IgG spécifiques dans le sang tend à avoir un effet sur les fonctions respiratoires (p=0,07). Aucun cas d'alvéolite allergique ne fut diagnostiqué. Puisque aucun test approfondi ne fut effectué (tomodensitométrie, rayon X

pulmonaire et lavage bronchoalvéolaire), il est possible que des cas évoluant à bas bruit soient présents. La tendance à la baisse des fonctions respiratoires chez les séropositifs et la présence d'une haute prévalence de sensibilisation suggèrent que les travailleurs des tourbières sont à haut risque de développer l'alvéolite allergique et la prévalence serait 3 fois plus élevée que dans les fermes laitières.

Conclusions et recommandations

L'exploitation de la tourbe de sphaigne est une activité qui génère des quantités importantes de poussières dans l'environnement de travail. Des concentrations élevées de poussières inhalable, totale et respirable ont été mesurées et de l'accumulation de poussière sur les murs, les planchers et les installations a été observée dans la majorité des tourbières visitées. Cette situation expose les travailleurs à des niveaux qui peuvent dépasser les valeurs limites établies. Ainsi, pour 28 des 37 travailleurs évalués, la valeur d'exposition à la poussière totale excèderait la limite permise.

Si les quantités de poussière dépassent les limites établies, on note également que la quantité de moisissures dans l'air est en corrélation avec la quantité de poussière. Dans les usines annuelles, même si la concentration de moisissures est significativement inférieure à la concentration dans les usines saisonnières, la durée de l'exposition influence la sensibilisation des travailleurs qui est significativement supérieure tandis que les fonctions respiratoires (Tiffeneau) ont tendance à être plus basses. Ceci indique que les travailleurs des usines annuelles sont plus à risque de développer des problèmes respiratoires à cause de leur exposition permanente aux antigènes présents dans l'air. De plus, pour huit de ces tourbières, la présence de quartz dans l'air ajoute un élément de risque à la santé pour les travailleurs puisque les concentrations mesurées atteignaient la valeur limite d'exposition dans quatre des cas et la moitié de cette limite pour les quatre autres. Finalement, le type de poussières aux concentrations mesurées entraîne un risque à la sécurité au niveau de l'explosivité et la propagation d'un incendie ou d'une déflagration.

Pour la majorité de ces établissements, les systèmes de captage à la source ne permettent pas de maîtriser les émissions de poussières à des niveaux acceptables. Plusieurs causes ont été observées dont la vitesse insuffisante pour le captage de ces poussières, la vitesse insuffisante pour leur transport dans les conduits, le débit d'air insuffisant, le nombre insuffisant de capteurs à la source, la distance trop grande entre les capteurs et la source et la détérioration des garnitures d'étanchéité.

Pour assurer un milieu de travail salubre et sécuritaire aux travailleurs des tourbières, nous recommandons que :

- Les installations et les pratiques de travail soient revues afin d'en établir la conformité avec la norme NFPA 654 sur les poussières combustibles. Ainsi, dans plusieurs établissements, le ventilateur était situé avant le système de dépoussiérage (relativement au sens de l'écoulement de l'air); cette situation nécessite l'application d'une série de mesures de sécurité notamment en ce qui a trait à la construction et l'entretien du ventilateur ainsi que l'installation de systèmes ou dispositifs de sécurité limitant, empêchant ou contrôlant la propagation d'un incendie ou d'une déflagration.

- Des modifications soient apportées aux systèmes de ventilation pour en améliorer la performance et la conformité aux règles de l'art. Ainsi l'augmentation du nombre de capteurs, une distance adéquate entre les capteurs et la source d'émission et l'installation de déflecteurs autour des capteurs sont des moyens d'améliorer l'efficacité de captage.
- Des manomètres mesurant la pression statique soient installés en aval des capteurs, pour s'assurer du maintien des conditions aérauliques.
- Des vérifications périodiques soient faites afin 1) de s'assurer du maintien des débits et vitesses d'air 2) qu'il n'y ait pas de sédimentation importante de poussière à l'intérieur des conduits 3) que les garnitures d'étanchéité sont en bon état et 4) qu'il n'y a pas de fuites.
- L'entretien des lieux soit fait de façon régulière afin d'éviter les accumulations de poussières. Il n'est pas recommandé d'utiliser un jet d'air comprimé pour nettoyer car cette pratique favorise la remise en suspension des particules créant un nuage de poussières et constitue une source potentielle d'électricité statique
- De la protection respiratoire appropriée soit fournie aux travailleurs en considérant la possibilité d'exposition au quartz. Dans les conditions d'empoussièrement actuelles, l'utilisation d'un système à adduction d'air est recommandée.

1. Introduction

Il y a des milliers d'années, des végétaux composés principalement de plantes hydrophiles tels la carex et les sphaignes se sont accumulés dans des anciens lits des fleuves, de rivières, de lacs, d'étangs ou de cuvettes glacières. Les cycles successifs de croissance et de décomposition lente de ces plantes ont formé d'épais matelas de matière végétale décomposée (parfois jusqu'à 10 mètres d'épaisseur) que l'on nomme aujourd'hui des tourbières. Ces dernières couvrent près de 12% du territoire canadien et leur superficie totale est estimée à 111 328 000 hectares dont près de 10 000 000 d'hectares (soit 10%) au Québec. Dans la seule région de Rivière-du-Loup, on retrouve plus de 3000 hectares de tourbières. Les propriétés physiques, chimiques et biologiques remarquables de la tourbe permettent de l'utiliser dans plusieurs secteurs : horticulture, agriculture, foresterie, protection de l'environnement, matière absorbante, applications thérapeutiques et médicinales, énergie, matériaux de construction et autres. Cependant c'est l'horticulture, l'agriculture et la foresterie qui utilisent 95% de la production en Amérique du Nord. L'exploitation commerciale de cette richesse est très importante au Québec et au Canada: en 1999, 967 000 tonnes de tourbe furent récoltées au Canada (une valeur de 48 millions de dollars). Les tourbières emploient environ 700 travailleurs dans la province de Québec (Gouvernement du Québec, rapport avril 2000) cependant si on regarde tous les secteurs susceptibles de manipuler la tourbe (horticulture etc.) le nombre de travailleurs en contact avec ce matériau est de beaucoup supérieur.

1.1 Microflore de la tourbe et autres éléments

La microflore de la tourbe a été étudiée par différents auteurs. Kuster et Locci ont décrit des actinomycètes thermophiles (Kuster et Locci 1963a) et des moisissures thermophiles (Kuster et Locci 1964). Ils ont démontré que les actinomycètes thermophiles occupent une place importante dans la flore thermophile de la tourbe et que les moisissures des genres *Humicola*, *Mucor* et *Paecilomyces* sont très communes dans la tourbe. Cormier et collaborateurs ont démontré, quant à eux, que 2 genres de moisissures mésophiles prédominent dans la tourbe soient *Monocillium* et *Penicillium* (Cormier, 1988). Ces deux moisissures ne seraient pas présentes dans la tourbe avant sa récolte, mais se développeraient lors de l'entreposage et du séchage de la tourbe avant sa mise en sac. Kuster a également décrit le genre *Penicillium* comme étant la moisissure prédominante dans la tourbe (Kuster, 1963b). Par ailleurs, on retrouve également jusqu'à 23 espèces de levures appartenant aux genres *Trichosporon*, *Candida*, *Rhodotorula* et autres (Poliakova, 2001) et des moisissures comme *Sporithrix schenckii* furent également isolées (Dixon, 1991).

Jusqu'à 18 espèces de mycobactéries ont été détectées dans la tourbe (Kazda, 1989), dont certaines pourraient être associées à l'alvéolite allergique (*M. chelonae,*) (Shelton, 1999), d'autres sont des pathogènes comme *M. fortuitum* (Brown-Elliott, 2002) ou *M. avium* (Bauer J, 1999).

On retrouve également *Legionella* spp. (Steele, 1990) dans de la terre à empoter, par contre Koide et ses collaborateurs ont démontré que la terre à empoter à base de tourbe ne contenait pas de *Legionella* sp. (Koide, 2001).

Une étude effectuée en 1985 dans des tourbières de la Côte Nord a permis la mesure de la silice (quartz cristallin) dans la poussière de tourbe et dans la tourbe elle-même (Tremblay, 1985). Cette étude a démontré des taux très faibles (environ 2%) de silice dans la tourbe tandis que dans la poussière de tourbe, ils n'étaient pas détectables. Selon les auteurs, il est donc peu probable que la silice dans la poussière de tourbe soit un risque pour la santé des travailleurs.

1.2 Problèmes de santé reliés à la manipulation de la tourbe

Certains problèmes de santé reliés à la manipulation de la tourbe sont bien connus. On parle de maladie reliée à la présence de *Sporothrix schenckii* (Coles, 1992; Agger, 1985, Hajjeh, 1997). La présence de *Mycobacterium xenopi* et *M. fortuitum* pourrait conduire à des infections aux reins (Lovodic-Sivcev, 1999) et comme il est rapporté précédemment, M. chelonae et M. gordonae pourraient être associées à l'alvéolite allergique (Shelton, 1999).

Si ces problèmes inhérents à la manipulation de la tourbe sont connus, aucune étude ne fait état de la microflore de l'air des tourbières et de l'exposition des travailleurs aux différents contaminants aériens comme les poussières organiques, les moisissures, bactéries, et autres produits pouvant causer des allergies ou des sensibilisations. L'effet sur la santé respiratoire des travailleurs n'est documenté. jusqu'à présent, que dans une seule étude publiée (Cormier, 1990) qui avait démontré que l'exposition à la poussière de tourbe et aux micro-organismes présents dans ce substrat était responsable d'une augmentation de la toux chronique. D'autre part, notre étude préliminaire décrit des cas d'alvéolite allergique dans une usine de transformation de la tourbe. Brièvement, il s'agit d'un sujet non-fumeur de 54 ans, employé d'une usine de transformation de la tourbe où des systèmes de dépoussiérage sont installés et en fonction qui présente une dyspnée progressive avec poussées récurrentes de fièvre. Son évaluation clinique, comprenant l'étude des fonctions respiratoires, une tomographie axiale, une bronchoscopie avec biopsies transbronchiques et un lavage bronchoalvéolaire, confirme le diagnostic d'alvéolite allergique. Le lien de cette alvéolite allergique avec l'usine de transformation de la tourbe est établi par la disparition de tous les signes et symptômes de la maladie avec le retrait du milieu de travail.

Une visite à l'usine est organisée afin d'évaluer les autres travailleurs et d'effectuer des prélèvements de tourbe à différents stades du procédé (coupeuse, moulange, mélange final) pour recherche d'antigènes. Chez 13 des 14 autres employés qui acceptent de participer à l'étude, nous obtenons des réponses à un questionnaire sur leur travail, leurs habitudes et leur état de santé, un examen physique et un prélèvement sanguin pour recherche d'anticorps spécifiques. Cinq travailleurs sont non-fumeurs, deux sont des fumeurs très légers (2 à 4 cigarettes par jour) et 6 sont des fumeurs réguliers (>10 cigarettes/jour). Un sujet présente des signes et symptômes suggestifs d'alvéolite allergique; une évaluation appropriée confirme ce diagnostic. L'analyse microbiologique révèle une présence abondante de moisissures, jusqu'à $4{,}6 \times 10^7$ unités formant des

colonies (UFC)/g de poussière dont environ 60% de *Monocillium* sp. et 30% de *Penicillium citreonigrum*. Les deux cas d'alvéolite allergique ainsi que 4 autres travailleurs (3 non-fumeurs et un fumeur léger) ont des anticorps IgG contre ces moisissures. Ces trois non-fumeurs asymptomatiques et deux fumeurs séro-négatifs furent aussi évalués en milieu hospitalier. Cette évaluation fut négative bien que les trois non-fumeurs séro-positifs présentaient une alvéolite lymphocytaire (30, 34, 68% de lymphocytes). Cette étude identifie un nouvel environnement pouvant causer l'alvéolite allergique et démontre une haute prévalence de réactions sériques et alvéolaires à l'antigène dans une usine possédant des systèmes de dépoussiérage. Les résultats de cette étude ont été publiés dans l'American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine (Cormier, 1998) et sont présentés en annexe 1.

À la lumière de ces résultats, il devenait donc intéressant de savoir si cette prévalence était spécifique aux travailleurs de cette usine ou si elle était étendue à l'ensemble de l'industrie. Il devenait donc impératif de connaître la nature et le taux de micro-organismes présents dans l'air respiré par les travailleurs de tourbières du Québec et de documenter les atteintes respiratoires et les risques encourus par l'ensemble des travailleurs de cette industrie.

Les usines de transformation de la tourbe sont des environnements très poussiéreux et des analyses effectuées par l'IRSST (105 analyses au cours de la période 1994-1996) ont démontré que 76,2% des quantités de poussière retrouvées dans l'air étaient supérieures au VEMP (valeur d'exposition moyenne pondérée) qui est de 10mg/m^3. D'autre part, 65,7% des analyses ont démontré plus de 200% de la VEMP (IRSST, Bilan des analyses environnementales pour la période 94-96).

D'autre part, un cas d'asthme professionnel chez un travailleur de tourbière fut officiellement diagnostiqué et répertorié (Dre Monique Rioux, CSST, 2002 communication personnelle). Ainsi, en plus de l'alvéolite, l'asthme peut être diagnostiqué chez les travailleurs de tourbières, et ce, dans une proportion inconnue.

1.3 Mesures prises pour améliorer la qualité de l'air des tourbières

Depuis les dernières années, suite aux résultats inquiétants de ces analyses, plusieurs tourbières se sont dotées de systèmes de dépoussiérage ayant pour but de réduire la concentration de poussière de l'air. La grande majorité des tourbières d'importance possède de tels systèmes. Certaines se sont dotées de procédés plus modernes, d'autres, de systèmes de ventilation efficaces afin de réduire la poussière et mis au point par l'entreprise (par exemple, ventilation vers l'extérieur près des ensacheurs) (Monsieur Hervé Roy, inspecteur CSST, Bas-St-Laurent, 1999, communication personnelle). D'après cet inspecteur, dans certaines usines, l'efficacité des systèmes de dépoussiérage est facilement observable visuellement et la poussière ambiante semble diminuer de façon considérable. Toutefois, la qualité de l'air, la contamination résiduelle et le rapport entre la contamination microbienne et la quantité de poussière n'ont jamais étudiés dans ces usines.

1.4 Étude de l'empoussièrement et de la ventilation des usines

Puisque deux types de contaminants (microorganismes et poussière) sont susceptibles d'être des nuisances dans l'environnement des travailleurs des tourbières il a également été pertinent d'effectuer une analyse plus poussée de la poussière ambiante. En effet, si l'air et la poussière retrouvés dans l'air contiennent des microorganismes nuisibles à la santé des travailleurs (volet 1), la nature chimique de la poussière de tourbe qui peut contenir du quartz et sa granulométrie sont intéressantes à connaître pour en évaluer la toxicité. L'étude de la ventilation quant à elle permet d'identifier les équipements de captage à la source les plus performants (volet 2).

2. Objectifs de recherche

2.1 Aérobiologie et santé (volet 1)

2.1.1 Étudier l'environnement

2.1.1.1 Analyser les bioaérosols des tourbières selon le poste de travail

- Quantifier les bactéries mésophiles cultivables et totales (par analyse en fluorescence)
- Quantifier et identifier les moisissures mésophiles cultivables
- Quantifier les moisissures thermophiles cultivables
- Quantifier les actinomycètes thermophiles cultivables
- Quantifier les endotoxines
- Quantifier la poussière inhalable

2.1.1.2 Déterminer la microflore de la tourbe

- Quantifier les bactéries mésophiles cultivables
- Quantifier et identifier les moisissures mésophiles cultivables
- Quantifier les moisissures thermophiles cultivables
- Quantifier les actinomycètes thermophiles cultivables
- Quantifier les bacilles acido-alcoolo résistants

2.1.1.3 Essayer d'établir une corrélation air-tourbe

2.1.2 Étudier la santé des travailleurs des tourbières du Québec

- Évaluer, à l'aide d'un questionnaire standardisé, l'état de santé respiratoire des travailleurs
- Mesurer les fonctions respiratoires des travailleurs
- Évaluer la réponse atopique aux aéroallergènes communs et à la sphaigne à l'aide d'un test cutané d'allergie
- Mesurer les anticorps sériques (IgG) spécifiques aux contaminants majoritaires de l'air
- Mesurer des marqueurs sériques de l'inflammation

2.2 Empoussièrement et ventilation des usines (volet 2)

2.2.1 Étudier l'empoussièrement du milieu de travail

- Mesurer les poussières inhalables, totales et respirables dans l'air ambiant
- Évaluer la granulométrie des poussières
- Déterminer les concentrations de quartz dans la poussière respirable

2.2.2 Mesurer l'exposition des travailleurs à la poussière inhalable

2.2.3 Étudier la ventilation

- Documenter les caractéristiques des systèmes de dépoussiérage installés aux postes de travail

3. Aérobiologie et santé (volet 1)

3.1 Matériel et méthodes

3.1.1 Choix de tourbières

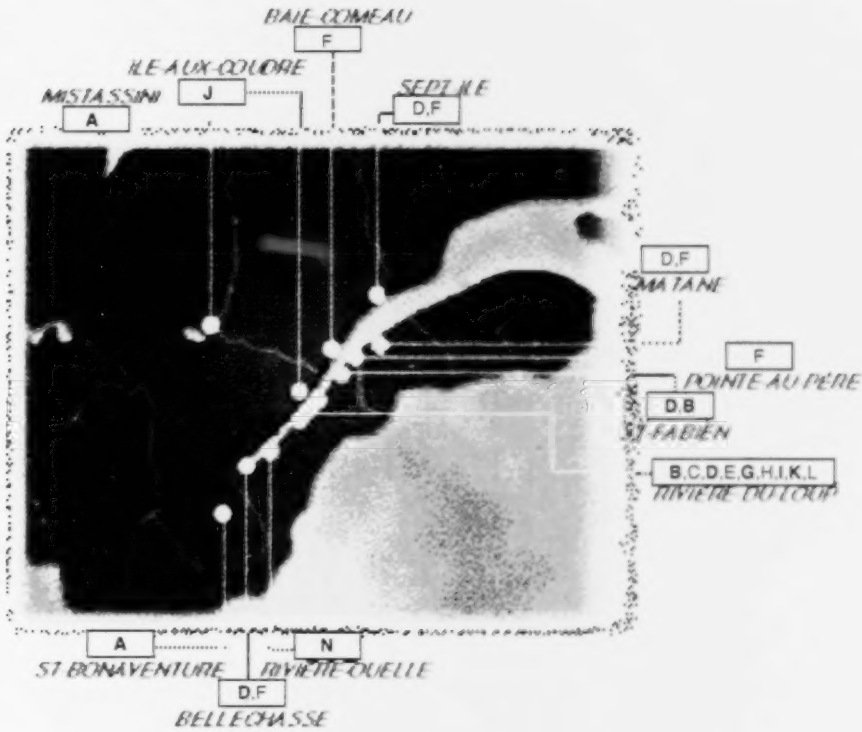


Figure 1 : Schéma de la répartition des tourbières au Québec

Source modifiée à partir de: membres.lycos.fr/aptq/assoc3.htm

Si on regarde le schéma précédent, on remarque que les usines de transformation de la tourbe membres de l'Association des producteurs de tourbe du Québec (APTQ) sont réparties à travers le Québec, avec une plus grande concentration dans la région de Rivière-du-Loup jusqu'à Matane. Afin d'avoir un échantillonnage le plus étendu possible de la biodiversité de la tourbe, nous avons essayé de choisir des usines réparties dans les différentes régions en tenant compte d'une part de la volonté des membres de l'association de participer à l'étude et d'autre part du type d'usine. En effet, il existe essentiellement deux types d'usine de traitement de la tourbe. Ce sont d'abord les entreprises où la tourbe est récoltée, tamisée et ensachée sans traitement ni additif, entreprises travaillant seulement entre mai et octobre dépendant des conditions

et leur nombre d'employés peut varier d'aussi peu que 5 pour aller jusqu'à 25. Dans ces entreprises, la tourbe peut être traitée dans la journée et passer directement du champ au tamisage et à l'ensachage pratiquement en continu. Elle peut également être récoltée et mise en tas au champ ou dans la cour de l'usine pour des périodes pouvant aller jusqu'à 3 mois pour être ensuite tamisée et ensachée.

Par opposition à ces entreprises saisonnières, certaines usines travaillent toute l'année en traitant de la tourbe récoltée l'été pour y amalgamer divers mélanges. Nous les appellerons annuelles (A). En général, ces entreprises sont plus grosses que les précédentes et emploient jusqu'à 50 travailleurs durant toute l'année. On retrouve 5 usines de ce genre au Québec et c'est dans l'une d'entre elles que l'étude préliminaire présentée en annexe 1 fut effectuée. Le tableau suivant représente l'ensemble des entreprises que nous avons visitées durant les étés et automnes 2000 et 2001. À la demande de l'IRSST, le critère d'inclusion à l'étude était que l'usine ait mis sur pied un système de dépoussiérage. Cette demande prouvait qu'un minimum de démarches en hygiène industrielle avait été fait dans ces usines.

Tableau 1: Usines visitées avec le type d'entreprise à laquelle elles appartiennent (S) ou (A), région géographique, nombre d'employés participants et date d'échantillonnage

Numéro et identification sur la carte	Région administrative	Type	Nombre d'employés participants	Date d'échantil-lonnage	Type de système de dépoussiérage
1 - D	Région 12	S	14	04/07/2000	oui
2 - I	Région 01	S	16	25/07/2000	non *
3 - D	Région 01	S	8	08/08/2000	oui
4 - K	Région 01	S	4	29/10/2000	oui
5 - A	Région 02	S	10	12/09/2000	oui
6 - B	Région 01	S	9	03/10/2000	oui
7 - J	Région 03	S	9	17/10/2000	oui
8 - B	Région 01	A	28	27/11/2000	oui
9 - A	Région 04	A	27	12/06/2001	oui
10 - G	Région 01	S	10	03/07/2001	Pas en fonction
11 - D	Région 01	S	6	4/07/2001	oui
12 - D	Région 01	S	21	31/07/2001	oui
13** - N	Région 01	A	27	06/11/2001	oui
14 - N		S			

**Cette entreprise ne possède pas de système de dépoussiérage mais les travailleurs aux presses sont protégés par une cagoule à pression positive.*

***Cette entreprise fonctionne toute l'année pour la partie mélange (13), mais lors de notre visite, une ligne classique était en marche ce qui nous a permis de faire une usine classique (14) supplémentaire, cette ligne étant isolée physiquement de la ligne 13. Les 27 volontaires peuvent être affectés indifféremment à la ligne 13 ou 14.*

S =entreprises saisonnières; A =entreprises annuelles

Les différentes entreprises qui ont accepté de nous recevoir sont donc réparties dans les différentes régions géographiques du Québec.

Nous avons recruté 11 entreprises saisonnières dont 9 possédaient des systèmes de dépoussiérage fonctionnels, une entreprise dont le système de dépoussiérage n'était pas en fonction et une autre qui ne possédait pas de système de dépoussiérage mais dont les travailleurs étaient protégés par une cagoule à pression positive. Selon la grosseur des entreprises, le nombre de participants a varié entre 4 et 21. Trois entreprises opérant toute l'année (travaillant de la tourbe récoltée parfois depuis un an) ont aussi accepté de participer à notre étude. L'usine où les cas d'alvéolite avaient été décrits n'a pas été réétudiée. La nature des mélanges manipulés peut être très différente d'une entreprise à l'autre, l'une travaillant des mélanges comportant principalement de la terre noire

(humus) pour faire de la terre à jardin comprenant peu ou pas du tout de mousse de tourbe, une autre se contentant d'ajouter quelques additifs (engrais, agent mouillant etc) dans la mousse de tourbe. En général, le nombre d'employés dans ce type d'entreprise est plus important que dans les usines saisonnières. Un total de 82 travailleurs a participé pour les trois usines visitées contre 107 pour les 11 usines saisonnières.

3.1.2 Description du cheminement de la tourbe et choix des sites d'échantillonnage

La figure 2 illustre le cheminement de la tourbe dans les deux types d'entreprises.

3.1.2.1 Usines saisonnières

On remarque que les bacs de réserve (figure 2) contenant la tourbe non traitée sont alimentés soit par de la tourbe provenant directement du champ soit par de la tourbe mise en tas au champ et ayant été récoltée antérieurement (entre 1 journée et 3 mois). Les figures 3 et 4 illustrent la machine qui sert à récolter la tourbe ainsi qu'un bac de réserve où on déverse la tourbe non traitée. On remarque la poussière qui peut se dégager lors de cette opération. Dans certaines entreprises, la tourbe de plusieurs savanes est mélangée sur des convoyeurs avant d'être envoyée dans les bacs qui alimentent les tamis où par un système de tamisage, moulange et criblage, la tourbe est débarrassée de tous les résidus trop gros (par exemple: morceaux de bois, cailloux etc.). Cette opération génère beaucoup de poussière et le système de tamisage-moulange-criblage est situé selon les entreprises soit dans une pièce fermée où les travailleurs ont accès pour aller faire l'entretien et le dépoussiérage ou soit dans un coffrage à l'intérieur de la pièce où on procède à l'ensachage.

Du tamisage, la tourbe est convoyée sur des tapis directement vers l'ensachage. Cette étape se fait dans des presses-ensacheuses (fig 5) qui, dans la plupart des entreprises saisonnières, fonctionnent comme suit :

- le travailleur, qui est relativement près de l'ensacheuse (moins de 1m) fixe le sac sur un support carré en face de lui
- le support tourne de 120° et la tourbe tombe dans le sac ouvert. Cette étape génère de la poussière
- la machine tourne à nouveau de 120° et la tourbe est compactée dans le sac grâce à un piston. Lorsque les presses-ensacheuses possèdent des systèmes de dépoussiérage, des capteurs de poussière, d'une efficacité variable mais toujours en fonction, se retrouvent à l'extérieur de la colonne de remplissage et de compaction
- la machine revient alors devant le travailleur qui ferme le sac et le place sur le convoyeur pour l'envoyer à l'entreposage pour y être expédié

Selon la taille de l'entreprise, dans la salle d'ensachage, on peut retrouver jusqu'à 3 presses qui produisent des sacs de différentes grosseurs. Dans certaines entreprises, la tourbe est ensachée en ballot compressé de 3500 ou 7000 litres qui seront utilisés dans les usines qui font des mélanges et travaillent toute l'année. De l'ensacheuse, les sacs sont

convoyés, soit pour être expédiés directement soit pour être entreposés dans la cour en attendant l'expédition.
L'opération complète, de la récolte au champ à l'expédition, peut prendre aussi peu que 1h à 1h30. Par contre, si la tourbe séjourne en tas au champ après la récolte, elle peut prendre jusqu'à trois mois et si elle entreposée emballée à l'extérieur, cela peut prendre un an avant l'expédition.

3.1.2.2 Usines travaillant toute l'année (annuelles)

Le processus est sensiblement le même que dans les usines saisonnières à la différence que les bacs de réserve peuvent être alimentés avec de la tourbe en ballot récoltée l'année précédente ce qui permet à l'entreprise de travailler toute l'année. D'autre part, dans ces entreprises, après l'opération de tamisage, on ajoute à la tourbe certains éléments tels la perlite, de l'engrais ou d'autres additifs selon certaines formules propres à chaque entreprise. Finalement, on y procède éventuellement à l'ensachage en gros sac de 1500 litres. Cette opération est appelée ensachage manuel, car les travailleurs répartissent manuellement la tourbe dans le sac sans pressage.

3.1.2.3 Choix des sites d'échantillonnage de l'air

Si on regarde le cheminement de la tourbe, on retrouve principalement trois opérations qui sont potentiellement à risque pour la santé des travailleurs parce qu'elles génèrent beaucoup de poussière. Ce sont le tamisage, l'ensachage manuel et la mise en sac aux presses-ensacheuses. Le tableau 2 représente les différents sites d'échantillonnage de l'air dans les 14 entreprises.

Tableau 2 : Sites de prélèvements d'air pour l'analyse des bioaérosols dans les différentes entreprises

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T					●	●	●		●	●			● *	
E								●	●					
M													●	
P	●	●	●	●	●	●	●	●	● ●	●	●	●	●	●

** Le tamisage des usines 13 et 14 se fait dans la même pièce*
T = tamisage, E = ensachage manuel, M = mélange, P = presse-ensacheuse

La partie ombrée représente les usines qui travaillent toute l'année et le ● ● signifie que les prélèvements ont été faits aux deux lignes d'ensachage dans deux pièces différentes.
Dans chaque usine, ces sites ont été choisis, pour l'échantillonnage de l'air, en fonction de la présence de travailleurs. Les différences dans le confinement (pièces ouvertes ou fermées) ont également été considérées. Ceci explique que dans certaines usines, on retrouve un prélèvement au tamisage si cette opération est faite dans une pièce fermée où les travailleurs vont sporadiquement pour y faire du balayage alors que dans le cas où les

tamis sont enfermés dans des coffrages dans la même pièce que les presses-ensacheuses, il n'y a pas de prélèvement d'air au tamis.

3.1.3 Méthodes d'échantillonnage et de traitement des échantillons d'air et de tourbe

3.1.3.1 Échantillonnage de l'air et traitement des échantillons pour analyse des microorganismes

Seize sites d'échantillonnage ont été choisis dans les 11 usines saisonnières et 9 dans les 3 usines annuelles. Tous les échantillonnages ont été faits pendant la journée de travail à heure fixe soit 8h, 11h et 13h. Les échantillonneurs ont été placés le plus près possible du site de travail sur une table à 1 mètre du sol. Deux types d'échantillonneurs ont été utilisés. Des Andersen six-étages pour particules viables (Andersen, 1958) (Graseby Andersen, Atlanta, Ga.) chargés de différents milieux ont servi au recouvrement des moisissures et bactéries mésophiles et thermophiles. Ces échantillonneurs ont été utilisés à un débit de 28,3 L/minute. Des AGI-30 [all-glass liquid impinger-30 (Ace glass. Inc,Vineland, N.J.)] remplis de 20 ml d'eau physiologique stérile ont également été utilisés à un débit de 12,5 L/minute pendant 2x8 minutes. Deux AGI-30 ont été utilisés en parallèle à chaque temps d'échantillonnage, ceux-ci étant regroupés afin d'être étalés par dilutions sériées sur les différents milieux, pour le recouvrement des différents microorganismes. Un témoin extérieur, prélevé de 1 à 5km en amont de l'usine par rapport au vent, a également été effectué, pour juger de la charge en microorganismes de l'environnement extérieur à l'usine. Tous les échantillons ont été gardés sur glace, en attendant leur traitement en laboratoire. Le tableau 3 montre la stratégie de prélèvement pour les différents échantillonneurs et les différents microorganismes à recouvrer.

Tableau 3: Stratégie des prélèvements de l'air

	Microorganisme recherché/ milieu utilisé	Heure d'échantillonnage et temps d'échantillonnage			Volume d'air échantillonné
		8 heure	11 heure	13 heure	
Andersen	Bactéries mésophiles /TSA	5 minutes	5 minutes	5 minutes	141,5 litres
	Actinomycètes thermophiles /TSA	20 minutes	20 minutes	20 minutes	566 litres
	Moisissures thermophiles /MEA	5 minutes	5 minutes	5 minutes	141,5 litres
AGI-30	Bactéries mésophiles /TSA Actinomycètes thermophiles /TSA Moisissures et levures mésophiles/RBA,SDA Moisissures thermophiles /MEA	2 x 8 minutes	2 x 8 minutes	2 x 8 minute	200 litres

Pour les abréviations TSA, MEA SDA et RBA voir la description des milieux dans le traitement des échantillons

a - Mise en culture des échantillons

Selon le type d'échantillonneur, le traitement des échantillons prélevés fut différent. Avec les échantillonneurs Andersen, l'air prélevé étant impacté directement sur les géloses (35ml en boîte de pétri plastique), les boîtes ont été directement incubées en position inversée. Les milieux utilisés et les conditions d'incubation sont décrits dans le tableau suivant

Tableau 4: Milieux utilisés pour la culture des différents microorganismes

Microorganismes visés	Milieu de culture utilisé	Température d'incubation	Temps d'incubation
Bactéries et actinomycètes mésophiles	**Trypticase soy agar** (TSA) avec amphotéricine B 5mg/L	25°C	2 à 5 jours
Actinomycètes thermophiles	**Trypticase soy agar** (TSA) avec amphotéricine B 5mg/L	52°C	7 à 9 jours
Moisissures mésophiles	- **Rose bengal agar** (RBA) avec chloramphénicol 50 mg/L - **Malt extract agar** (MEA) avec chloramphénicol 50 mg/L	25°C	7 jours
Moisissures et levures mésophiles	**Sabouraud dextrose agar** (SDA) avec chloramphénicol 50 mg/L	25°C	7 jours
Moisissures thermophiles	**Malt extract agar** (MEA) avec chloramphénicol 50 mg/L	52°C	7 jours

L'amphotéricine B est utilisée afin d'éviter la croissance des moisissures sur les milieux destinés à l'évaluation des bactéries et actinomycètes, tandis que le chloramphénicol inhibe la croissance des bactéries sur les milieux utilisés pour les moisissures.

Les échantillons des barboteurs ont été traités différemment. Les AGI-30 ont été combinés deux à deux selon les heures de prélèvement. Le volume d'échantillon résiduel du liquide de barboteur est d'abord mesuré (une certaine évaporation due à la vitesse d'arrivée de l'air et au temps d'échantillonnage peut se produire) puis complété à 50ml (après avoir combiné les deux AGI-30) avec une solution saline stérile de Tween 20 à 0,1% qui sert également à rincer les barboteurs. Le Tween 20 sert à mouiller les spores contenus dans l'échantillon et sa concentration finale dans l'échantillon est d'environ 0,02%. Cette solution est ensuite diluée de 10^0 à 10^{-4} par dilution sériée avec une solution saline stérile. Tous les échantillons furent dilués en triplicata. Pour chaque site d'échantillonnage, nous avons donc 3 échantillons (trois temps d'échantillonnage dans la journée), chacun étant traité en triplicata de 10^0 à 10^{-4}, les dilutions utilisées dépendant des microorganismes à recueillir. Cent microlitres de chaque dilution furent étalés sur les différents milieux énumérés précédemment et incubés dans les mêmes conditions.

Le liquide d'échantillonnage des AGI-30 avec Tween non dilué a été aliquoté et congelé pour détermination des endotoxines (3 x 1ml) et l'analyse en fluorescence (20ml avec 1% formaldéhyde pour fixer les microorganismes et éviter l'évolution des échantillons).

b - Décompte et isolement des microorganismes

- *Les bactéries totales cultivables*

Les colonies sur TSA incubé à 25°C ont été comptées après des temps variant de 48h à 120h d'incubation sur la dilution contenant entre 30 et 300 colonies et sont rapportées en unités formatrices de colonies par mètre cube (UFC/m^3) d'air. Une moyenne de 9 valeurs (3 échantillons prélevés dans la journée et traités en triplicata) par jour et par site d'échantillonnage est obtenue. Si une bactérie s'avérait majoritaire, elle a été isolée, purifiée et congelée à -80°C en bouillon TSB avec 10% de glycérol pour identification ultérieure et éventuelle utilisation pour la mesure des IgG spécifiques dans le sérum des travailleurs.

- *Les moisissures et levures*

Les colonies sur MEA, SDA et RBA ont été comptées à la dilution contenant entre 5 et 50 colonies non confluentes après 7 jours d'incubation à 25°C. Toutes les colonies différentes ont été isolées, purifiées et conservées à 4°C sur gélose inclinée (SDA) en tube vissé pour identification ultérieure.

- *Les moisissures thermophiles*

Puisque la tourbe est une matière pouvant être sujette au réchauffement, la présence de moisissures thermophiles y fut décrite (Kuster et Locci, 1964). Après 7 jours d'incubation sur MEA, toutes les colonies ayant poussé à 52°C ont été repiquées, incubées à 25°C et 52°C. Seules les colonies n'ayant pu croître à 25°C (indiquant la présence de thermorésistants et non de thermophiles), ont été comptées et conservées à 4°C sur gélose inclinée (SDA) en tube vissé pour identification ultérieure.

- *Les actinomycètes thermophiles*

Toutes les colonies d'actinomycète sur les boîtes de TSA incubées à 52°C ont été comptées après 7 à 9 jours. Toutes les colonies susceptibles d'être une des 3 espèces potentiellement responsables de l'alvéolite allergique (*Saccharopolyspora rectivirgula*, *Thermoactinomyces vulgaris*, *Saccharomonospora viridis*) ou une autre espèce prédominente ont été comptées séparément, isolées, purifiées et gardées à 4°C sur gélose en pente TSA pour identification ultérieure par la méthode décrite par notre équipe (Harvey, 2001).

c - Identification des microorganismes isolés

Toutes les moisissures mésophiles isolées sur RBA et SDA ont été repiquées sur SDA, réparties en deux groupes distincts soit le genre *Penicillium* et les autres genres et regroupées selon l'aspect macroscopique pour en arriver à différents types par espèce.

Pageseuls les types ont été identifiés, les équivalents du groupe prenant la même identification. Tous les *Penicillium* ont été identifiés à l'espèce par la méthode de Pitt (Pitt, 1979) qui utilise 3 milieux de culture: Czapek yeast extract (CYA) à 5°C, 25°C et 37°C, Malt extract agar (MEA) à 25°C et 25% Glycerol nitrate agar (G25N) à 25°C. Les *Aspergillus* et leurs téléomorphes ont été identifiés en utilisant le *Laboratory guide to common Aspergillus species and their teleomorphs* (Klich and Pitt, 1994) qui suit les méthodes d'identification des *Penicillium* en utilisant 3 milieux CYA à 25°C et 37°C, CYA avec 20% de sucrose (CY20S) à 25°C et MEA à 25°C. Les non-*Penicillium* ont été identifiés au genre à moins que les informations recueillies sur SDA aient permis l'identification à l'espèce en utilisant les livres de référence (Samson et al. 1996; Wang and Zabel, 1990; St-Germain and Summerbell, 1996).

d - Méthodes non basées sur la culture

- *Endotoxines*

Les endotoxines ont été mesurées à partir du liquide des barboteurs par la méthode LAL chromogénique « endpoint » (Associates of Cape Cod, Flamouth, USA). Un test de synergie/inhibition a été effectué sur des échantillons de façon aléatoire pour déterminer la dilution minimale permise lors du dosage.

- *Cellules totales en épifluorescence*

Le compte total (cellules vivantes et mortes) a été effectué en coloration DAPI (Molecular probes, Eugene, Oregon) à partir des liquides de barboteurs fixés. Ce colorant s'intègre à l'ADN de toutes les cellules. Mille microlitres (ou moins) ont été colorés à l'aide du DAPI 10nM et les cellules ont ensuite été filtrées sur filtre de polycarbonate noir 0,22µm (Millipore corp. Bedford, Ma). Après deux lavages, le filtre a été monté entre lame et lamelle avec une goutte d'huile de Molecular probes. Les filtres furent ensuite observés au microscope à fluorescence E-600 de Nikon (Nikon Canada, Missisauga, On) monté avec une caméra Spot RT (Diagnostics Instruments, Iowa city, Iowa) avec le filtre UV2B. Les images sont analysées à l'aide du logiciel Image ProPlus (Media Cibernetic, Silverspring, Maryland). Les champs ont été choisis au hasard et les cellules sont comptées. Si les cellules étaient abondantes, une dizaine de champs étaient comptés et si les évènements étaient rares, on comptait autant de champs qu'il est nécessaire pour obtenir 300 cellules sur le total des champs. La formule suivante fut utilisée pour obtenir le nombre de cellules par ml, cette valeur étant ensuite rapportée au m^3 d'air connaissant le temps d 'échantillonnage, le débit d'air prélevé et le volume final (après rinçage) de l'AGI-30 dans lequel on a échantillonné.

$$\text{Nombre de cellules /ml} = \frac{N \times AF \times 1000\mu l}{N^{bre} \text{ de champs} \times AC \times V(\mu l)}$$

Où :
N = Nombre total de cellules comptées
AF = Aire de filtration = 216,42mm^2
AC = Aire d'un champ à 100X = 0,009775mm^2
V = volume d'échantillon testé en µl

3.1.3.2 Échantillonnage de la poussière inhalable

La poussière inhalable a été mesurée à l'aide de cassettes personnelles IOM [(Institute of Occupational Medicine) de SKC (Eighty Four, PA)] montées avec des filtres PVC (25mm de diamètre et 0,8µm de porosité) préalablement conditionnés et pesés en laboratoire dans des conditions contrôlées de température et d'humidité selon la méthode IRSST 48-1. Des tests préliminaires ont détecté des variations du poids de ces cassettes entre 50 et 100 µg. Cependant les variations observées pour un groupe de 12 filtres soumis à un même environnement se situaient à ± 5% de la variation moyenne; ce qui a permis de corriger les masses lors des pesées à l'aide de la variation moyenne de « témoins » d'échantillonnage. Nous avons échantillonné à un débit de 2 L/minute. Les échantillonnages ont été effectués en parallèle aux échantillonnages de l'air c'est-à-dire aux mêmes sites et périodes de la journée et un total de 21 sites ont été échantillonnés. En général, trois cassettes ont été placées en parallèle sur une table à 1 mètre du sol pour l'échantillonnage en poste fixe et une cassette par employé présent au site pour l'échantillonnage personnel. Le temps d'échantillonnage variait en fonction de la quantité de poussière présente.

Traitement des échantillons

Après les prélèvements, les filtres furent à nouveau conditionnés en laboratoire et repesés selon la méthode IRSST 48-1 pour donner la poussière inhalable en mg de poussière/m^3 d'air. Plusieurs filtres témoins (emmenés sur le terrain mais non utilisés pour échantillonner) ont toujours servi pour faire les analyses gravimétriques.

3.1.3.3 Échantillonnage et traitement des échantillons de tourbe

Des échantillons de tourbe d'environ 15 g ont été prélevés dans des contenants stériles en triplicata (3 échantillons dans la journée) dans le bac de réserve et dans les sacs aux presses-ensacheuses aux mêmes temps que les prélèvements d'air. Nous avons recueilli 33 échantillons différents de tourbe, 24 pour les usines saisonnières et 9 pour les usines annuelles. Ces échantillons ont été gardés sur glace, avant d'être traités en laboratoire.

a - Mise en culture

Dans un tube conique de type Falcon stérile de 50 ml, 1,5 g de chaque échantillon de tourbe a été pesé et dispersé dans 15 ml d'eau physiologique auxquels on ajoute 15 ml d'eau physiologique contenant 0.1% Tween 20. Après agitation vigoureuse à la main, repos de 5 minutes et nouvelle agitation de 2 minutes pour détacher le maximum de microorganismes de la tourbe, les tubes ont été centrifugés à 50 g pendant 1 minute pour forcer la sédimentation des grosses particules. Le surnageant a été recueilli et dilué de 10^0 à 10^{-4} par dilutions sériées en triplicata pour être étalé sur TSA, RBA, MEA et SDA afin d'être incubé et traité dans les mêmes conditions que les échantillons d'air.

b - Décompte et isolement des microorganismes

Les mêmes méthodes et mêmes microorganismes que dans le traitement de l'air ont été ciblés. Les comptes sont exprimés en UFC/gramme de tourbe sèche et représentent la moyenne des trois échantillons prélevés dans la journée à un même site.

c - Décompte des bacilles acido-alcoolo résistants

La croissance des mycobactéries requérant de 15 à 30 jours et certaines mycobactéries étant sensibles au chloramphénicol (inhibiteur de croissance des bactéries), ce dernier ne peut être utilisé, ce qui mène à un envahissement des boîtes par des bactéries mésophiles. Pour éviter ce problème, les échantillons de tourbe doivent subir une décontamination avant d'être étalés sur les milieux propices à la croissance des bacilles acido-alcoolo résistants.

- *Décontamination des échantillons*

Nous avons adapté la méthode de Livanainen (Livanainen, 1995) qui est basée sur la culture de la tourbe dans du TSB pour sortir les différents microorganismes de leur quiescence et les détruire par la suite par un traitement alcalin avec vert de malachite et amphotéricine B, ce qui éliminera la plupart des contaminants et permettra la culture des mycobactéries. Un poids précis de tourbe voisin de 1,5 g a été pesé auquel a été ajouté le même poids de billes 0,45-0,50mm et un volume de TSB stérile supplémenté avec 0,02% de Tween 20 tel qu'il a toujours donné un rapport de 1/20. Après agitation (1 minute suivie de 2 minutes) et centrifugation 1 minute à 50 g pour éliminer les gros débris, la suspension a été aliquotée en 15ml (0,75g de tourbe) et ces aliquots ont incubé 5h à 37°C. On a ajouté ensuite 7,5 ml de NaOH (1,5M), 7,5ml de vert de malachite 0,3% (p/v) et 7,5ml d'amphotéricine B 50mg/ml. On laisse reposer 30 minutes et 7,5ml d'HCl 1,5M ont servi à neutraliser la solution. Après centrifugation à 2000 g (à 4°C) et 3 lavages à l'eau physiologique stérile, le culot a été remis en suspension dans 9 ml d'eau physiologique stérile. À chaque essai, un contrôle de concentration connue en mycobactéries fut traité de la même façon que les échantillons de tourbe pour nous permettre de calculer le pourcentage de perte dû à la décontamination.

- *Traitement et décompte des échantillons décontaminés*

Sur l'échantillon décontaminé, des dilutions sériées ont été effectuées en triplicata de 10^0 à 10^{-2} pour procéder aux étalements sur Middelbrook 7H10 avec 5 mg/L d'amphotéricine B.

Après 21 jours d'incubation à 35°C, toutes les colonies ont été comptées par type et contrôlées à la coloration Kinyoun pour confirmer qu'il s'agit de bacilles acido-alcoolo résistants. Les colonies confirmées sont exprimées en UFC/gramme de tourbe sèche.

d - Détermination de l'humidité de la tourbe

Un poids précis de tourbe a été desséché à 60°C jusqu'à poids constant dans des plats à tare préalablement desséchés et pesés et le % d'humidité est calculé par soustraction du poids sec du poids humide le tout étant rapporté au poids humide du départ.

3.1.4 Évaluation des travailleurs

3.1.4.1 Questionnaire

Le questionnaire sur la santé respiratoire a été rempli par 189 travailleurs volontaires de l'industrie en contact avec la tourbe. Ce questionnaire présenté en annexe 1 est basé sur le questionnaire standardisé de l'American Thoracic Society (ATS) (Ferris, 1978) adapté pour les tourbières et a été rempli sous la supervision d'une infirmière spécifiquement entraînée.

3.1.4.2 Fonctions pulmonaires

Afin de mesurer les capacités respiratoires et de détecter des atteintes fonctionnelles, nous avons mesuré la fonction respiratoire par une analyse de la courbe expiratoire forcée pour chaque sujet. De cette courbe, nous obtenons le volume expiratoire maximal en une seconde (VEMS), la capacité vitale forcée (CVF) et le rapport VEMS/CVF. Deux courbes reproductibles sur un maximum de 4 essais sont conservées pour chaque travailleur. Ce test a été effectué sur un Vitalograph (Roxon, Burmingham England) et selon les standards de l'American Thoracic Society (ATS) (Crapo, 1995).

3.1.4.3 Tests d'allergie

Afin de détecter la présence d'atopie chez les travailleurs pouvant être causée, entre autres, par l'exposition aux nombreux microorganismes de la tourbe, les tests cutanés d'allergie ont été effectués. Les substances allergènes utilisées sont identifiées au tableau 5. Nous avons ajouté, en plus des antigènes utilisés de façon routinière, un extrait fabriqué à partir de tourbe de sphaigne verte. Cet extrait protéique a été produit par la compagnie Omega (Montréal, Canada). Les tests ont été faits avec le système "Phaset" de Hollister-Steer. Ce système a l'avantage d'assurer que chaque allergène est appliqué à la même profondeur. La réaction aux allergènes a été lue 10 minutes après leur application

en obtenant la moyenne de la somme des deux plus grands diamètres perpendiculaires. Toute valeur égale ou supérieure à 3 mm fut considérée positive.

Tableau 5 : Liste des antigènes utilisés pour les tests d'allergie cutanée.

1-Contrôle	2-Histamine	3-Poils de chats	4-Poils de chien
5-Poils de cheval	6-Poils de vaches	7-Plumes	8-Poussières de maison
9-D. Farinae	10-Mélange de graminées	11-Bouleau	12-Cèdre rouge
13-Sapin	14-Épinette	15-Herbe à poux	16-Mauvaises herbes
17-*Alternaria*	18-*Cladosporium*	19-*Mucor*	20-*Helminthosporium*
21-*Penicillium*	22-*Aspergillus fumigatus*	23-Sphaigne	

3.1.4.4 Prise de sang

Un prélèvement de 10 ml de sang par ponction veineuse a été effectué par l'infirmière dans le but de faire le dosage des IgG (alvéolite allergique et marqueur d'exposition) spécifiques dirigées contre les moisissures qui prédominent dans l'atmosphère des travailleurs. Les prélèvements ont également servi à effectuer la mesure des marqueurs d'inflammation. Le sang a été centrifugé (1000 g) et le sérum recueilli puis congelé à moins 80°C jusqu'à utilisation. Nous avons recueilli 155 sérums sur les 189 travailleurs ayant participé à l'étude ainsi que 43 sérums contrôles de personnes vivant dans la même région que les travailleurs mais n'ayant aucun lien avec la tourbe.

3.1.4.5 Dosage des IgG

Les IgG sont considérées comme des marqueurs d'exposition et sont utilisées dans le diagnostic de l'alvéolite allergique. La mesure de ces immunoglobulines a été effectuée tel que décrit dans notre plus récente étude (Cormier, 1998). Brièvement, des plaques à 96 puits ont été tapissées avec 100 µl d'une solution à 50 µg/ml de l'antigène approprié (voir plus bas pour une brève description de la méthode de production d'antigène). Les plaques ont ensuite été lavées et saturées avec de l'albumine de sérum de veau (BSA) à 1%. Les IgG spécifiques ont été mesurées par incubation d'une dilution 1:500 et 1/1000 des sérums étudiés et révélées à l'aide d'anti-IgG humaines couplées à la peroxydase. Nous avons utilisé l'OPD comme substrat et la réaction a été arrêtée avec 50 µl de H_2SO_4 4N. L'absorbance a été lue à 490 nm. Chaque plaque comportait un témoin positif et un blanc.

La positivité de la réaction des travailleurs fut évaluée en comparaison avec la réponse des témoins non-exposés. Ainsi, toute réaction dépassant celle des témoins non-exposés est considérée comme positive. Selon l'intensité de la réaction, des cotes furent attribuées (nous avons divisé l'ampleur des réactions possibles et observées en 4 tranches, de 1 à 4).

Les travailleurs cotés 1 furent regroupés avec les négatifs et seuls les travailleurs cotés de 2 à 4 furent retenus dans le groupe de positifs.

Production des antigènes pour la mesure d'IgG

Les extraits antigéniques ont été préparés selon la méthode publiée par Kim (Kim, 1978) et utilisée par notre équipe dans plusieurs études (Cormier 1998 et 2000) pour les moisissures et Schulyer (Schulyer, 1982) pour les levures. Nous avons sélectionné 5 souches (4 moisissures et 1 levure) à cause de leur importance dans la microflore de l'air des tourbières visitées. Les moisissures sélectionnées ont été cultivées dans du bouillon Sabouraud dextrose entre 25 et 30°C sous agitation dans un incubateur New Brunswick, pendant 4 jours (pour les moisissures et 3 jours pour la levure) dans des fioles de 500ml. Les cultures furent ensuite récupérées par centrifugation (3000 g) pour la levure et par filtration sur buchner pour les moisissures et lavées 3 fois à l'eau distillée stérile. Pour la levure, elle a été remise en suspension dans 2 à 3 fois son poids d'eau stérile puis congelée à -70°C pour faciliter la rupture ultérieure des cellules. Elle fut ensuite détruite à l'homogénéisateur de Braun sous courant de CO_2 (pour éviter l'échauffement dû à la friction des billes) et lyophilisée. Pour les moisissures, après les 3 lavages, la culture a été laissée une nuit à 4°C dans de l'eau distillée stérile et elle est ensuite récupérée sur buchner pour être brisée, d'abord à l'aide d'un broyeur de tissus (Kendall Company, Mansfield Ma) puis, à l'homogénéisateur de Braun. Les suspensions antigéniques furent ensuite lyophilisées. Ce sont ces préparations qui ont été utilisées pour tapisser les plaques employées pour la mesure des IgG sériques décrite précédemment.

3.1.4.6 Dosages des marqueurs sériques d'inflammation

Le niveau d'inflammation systémique chez les travailleurs a été mesuré sur le sérum recueilli auprès des travailleurs ainsi que sur les sérums contrôles. Nous avons mesuré les niveaux d'Il-6 et de TNF par ELISA (R & D Systems, Mineapolis, MN) et les niveaux de protéine C réactive (CRP) ont été mesurés au département de biochimie de l'Hôpital Laval par le test N CRP haute sensibilité à l'aide du système « Behring nephelometer » (BN) (Dade Berhing, Marburg Germany).

3.1.5 Analyse statistique

Les résultats de tendance centrale et de variabilité des différents paramètres des données provenant de l'air sont représentés en utilisant les médianes avec leur étendue puisque les distributions empiriques étaient toutes asymétriques. Une première approche d'analyse statistique était la comparaison des comptes de moisissures, bactéries et poussières entre les usines dites annuelles et les usines saisonnières. Nous avons utilisé comme type d'analyses statistiques le modèle d'analyse de variance à un facteur à deux niveaux (annuelle fonction de saisonnière). Une transformation logarithmique des données des comptes de moisissures et de bactéries a été nécessaire afin d'avoir une distribution normale des résidus des modèles statistiques, et par le fait même, d'avoir également des variances homogènes entre les différents niveaux du facteur. Ces transformations étaient nécessaires pour avoir des tests valides. La même approche statistique a été utilisée pour la comparaison entre les sites de tamisage et d'ensachage. Pour les sites de mélange et d'ensachage manuel, puisque les nombres d'observations étaient trop petits (n=1 et n=2 respectivement), il a été décidé de les exclure de l'analyse statistique. Et finalement, pour

mesurer la dépendance entre les différents paramètres, nous avons utilisé le coefficient de corrélation de Pearson.

Les résultats des différents paramètres des données provenant de la tourbe sont représentés en utilisant les médianes avec leur étendue. Pour l'analyse statistique, nous avons utilisé la même approche que celle mentionnée pour les données provenant de l'air.

Les relations entre les données provenant de l'air et celles provenant de la tourbe ont été mesurées en utilisant le coefficient de corrélation de Pearson.

Le volet santé des travailleurs a cherché à établir s'il y avait une relation entre les contaminants et les différents taux d'anticorps, les symptômes et les fonctions respiratoires chez les travailleurs des tourbières. La première approche a été de décrire les tests de fonctions respiratoires à l'aide d'un histogramme pour chacune des tourbières. Les moyennes et leur écart-type « sem » furent utilisées pour représenter les valeurs centrales et leur variabilité. La comparaison des valeurs obtenues pour chacune des tourbières s'est fait en comparant les usines annuelles par rapport aux saisonnières. L'analyse des données s'est faite en utilisant un modèle d'analyse de variance à un facteur. Pour les fonctions respiratoires, afin de s'assurer que le tabagisme n'interférait pas dans la comparaison des paramètres, l'analyse de variance à un facteur a été refaite en utilisant ce paramètre comme covariable. Suite à cette correction, les résultats statistiques sont restés semblables. Pour les variables catégoriques ou nominales représentées à l'aide d'un tableau de contingence, nous avons utilisé le test exact de Fisher. La seconde approche fut de mesurer l'association entre les paramètres des tests de fonctions et les variables décrivant l'environnement. C'est le coefficient de corrélation de Pearson qui a été utilisé pour mesurer le niveau d'association.

Toute hypothèse nulle dont le seuil observé était inférieur à 0,05 était rejetée. L'ensemble des résultats a été analysé à l'aide du progiciel SAS version 8.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC).

3.2 Résultats

3.2.1 Environnement

3.2.1.1 Air

a - Décomptes des microorganismes et poids de poussière dans l'air

Le tableau 6 représente les comptes de moisissures, bactéries et poussières dans les usines travaillant toute l'année (annuelles) comparativement aux usines saisonnières. Ces valeurs sont exprimées en UFC/m^3 et représentent la médiane pondérée des 3 usines annuelles par rapport à la médiane pondérée des 11 usines saisonnières. Ces données ne tiennent pas compte des témoins extérieurs. En effet, la population de microorganismes à l'extérieur étant totalement différente et beaucoup moins importante que la population à l'intérieur de l'usine, elle n'influençait nullement les résultats.

Tableau 6 : Valeur médiane et étendue des données pour les moisissures comptées sur RBA, bactéries comptées sur TSA et poussières inhalables dans l'air des usines annuelles, comparée aux usines saisonnières

	Moisissures médiane (étendue) UFC/m^3	Bactéries médiane (étendue) UFC/m^3	Poussières inhalables médiane (étendue) mg/m^3
Usines annuelles	$1{,}54x10^{5\,a}$ ($6{,}96x10^3$ - $3{,}12x10^5$)	$7{,}58x10^3$ ($5{,}47x10^3$ - $3{,}84x10^4$)	16^a (2,82 - 75,35)
Usines saisonnières	$3{,}4x10^{6\,b}$ ($2.30x10^5$ - $5{,}58x10^7$)	$3{,}63x10^4$ ($1{,}12x10^3$ - $1{,}21x10^5$)	$137{,}6^b$ (14,1 - 359,7)
Total	$1{,}54x10^6$ ($6{,}96x10^3$ - $5{,}58x10^7$)	$3{,}49x10^4$ ($1{,}12x10^3$ - $1{,}21x10^5$)	133,6 (2,82 - 359,7)
P	0,0217	0,2067	0,0287

Les lettres différentes indiquent une différence statistique ($p<0{,}05$). Les comparaisons sont effectuées à l'intérieur d'une colonne

Le tableau 7 donne les comptes de moisissures, bactéries et poussières aux différents sites toutes les usines confondues. Comme dans le tableau précédent, ces résultats sont exprimés en UFC/m^3 et représentent la médiane par site basée sur la médiane de 9 résultats par usine (trois échantillonnages répartis dans la journée, chacun étant traité en triplicata). Si on se rapporte au tableau 2, on remarque que l'ensachage manuel n'est pratiqué que dans 2 usines. En conséquence, la valeur de l'ensachage manuel représente

la médiane pour ces deux usines; de la même façon, pour le mélange nous n'avons qu'une seule valeur représentée par la médiane sur les 9 résultats à ce site; la valeur au tamis est le résultat de la médiane de 7 usines puisqu'il n'y avait pas une pièce fermée dans toutes les entreprises. Par contre, la valeur à la presse-ensacheuse représente la médiane des 15 sites échantillonnés, l'usine 9 ayant deux lignes d'ensachage situées dans deux pièces différentes.

Tableau 7 : Valeur médiane et étendue des données pour les moisissures comptées sur RBA, bactéries comptées sur TSA et poussières inhalables dans l'air, aux différents sites d'échantillonnage toutes usines confondues

	Moisissures médiane (étendue) UFC/m^3	Bactéries médiane (étendue) UFC/m^3	Poussières inhalables médiane (étendue) mg/m^3
Tamisage N=7	$5{,}70\times10^{6\,a}$ ($1{,}22\times10^{4}$ - $1{,}02\times10^{8}$)	$2{,}22\times10^{4}$ ($1{,}97\times10^{4}$ - $9{,}08\times10^{4}$)	$228{,}9^{a}$ (2,82 - 441,7)
Mélange* N=1	$1{,}54\times10^{5}$	$4{,}85\times10^{3}$	Non disponible
Ensachage manuel N=2	$2{,}65\times10^{5}$ ($9{,}16\times10^{3}$ - $5{,}22\times10^{5}$)	$1{,}70\times10^{5}$ ($9{,}39\times10^{3}$ - $3{,}32\times10^{5}$)	Non disponible
Ensachage N=15	$1{,}09\times10^{6\,b}$ ($2{,}22\times10^{3}$ - $2{,}38\times10^{7}$)	$2{,}08\times10^{4}$ ($1{,}11\times10^{3}$ - $1{,}21\times10^{5}$)	$54{,}4^{b}$ (0,87 - 359,6)
P	0,0016	0,6139	0,0071

**Une seule valeur, pas une médiane.*

Les lettres différentes indiquent une différence statistique ($p<0{,}05$). Les comparaisons sont effectuées à l'intérieur d'une colonne

Les actinomycètes et moisissures thermophiles ont été cultivés à 52°C sur MEA et TSA respectivement. Cependant, leur faible concentration ne permettant pas d'obtenir des comptes valables, on peut seulement conclure à leur présence. Il en est de même pour les levures isolées sur SDA. D'autre part, les comptes de microorganismes totaux par microscopie en fluorescence n'ont pu être obtenus compte tenu de la présence de nombreux débris de poussière qui colmatent les membranes de polycarbonate ce qui rend impossible la filtration de ces échantillons sur ces membranes pour observation au microscope après coloration DAPI.

Les figures 6 et 7 représentent respectivement, les taux de bactéries et de moisissures comptées sur Rose Bengal Agar, aux différents sites d'échantillonnage dans les différentes usines visitées. Ces valeurs représentent la moyenne sur la journée (3 temps d'échantillonnage, en triplicata) et les écart-types à chaque site pour l'ensemble des entreprises visitées.

b - Identification des microorganismes

Puisque les moisissures représentaient le contaminant majeur, les bactéries, actinomycètes et moisissures thermophiles et levures n'ont pas été identifiés. Au total, 788 moisissures ont été isolées sur RBA et 532 sur SDA pour être traitées ultérieurement. Seuls les *Penicillium* et quelques *Aspergillus* ont été identifiés à l'espèce, les autres moisissures ayant été identifiées au genre. Dans le tableau 8, on retrouve toutes les espèces de *Penicillium* identifiées dans les différentes usines aux différents sites d'échantillonnage avec la fréquence en % de *Penicillium* identifiés par rapport à la population totale de moisissures, les parties ombrées soulignant l'espèce majoritaire dans une tourbière. On remarque que les *Penicillium* les plus souvent retrouvés sont *P. citreonigrum* (21 fois sur 24 sites, le tamis des usines 13 et 14 étant commun et ne comptant que pour un site), *P. janthinellum* (21/24), *P. miczynskii* (21/24), *P. restrictum* (21/24) et *P. spinulosum* (19/24). Les autres taxons sont exprimés dans le tableau 9 et *Torulomyces* sp. est l'espèce la plus souvent retrouvée à des % pouvant atteindre 59% des moisissures totales. Ces principales espèces se retrouvent dans toutes les usines que ce soit à un site ou un autre à l'exception de l'usine 1 où on ne retrouve que *P. janthinellum* (34%) et *P. restrictum* (42.5%) et l'usine 9 qui semble avoir une biodiversité différente. Si on analyse la biodiversité dans les différentes tourbières, on remarque dans le tableau 10 que l'espèce *Penicillium* est largement majoritaire dans l'air et compose jusqu'à 84% des moisissures totales. En général, quand *Penicillium* sp. n'est pas majoritaire, c'est *Torulomyces* sp qui le devient, *Paecilomyces* sp. ne se retrouvant que peu fréquemment dans l'air. La figure 8 illustre le % de certains genres de moisissures identifiées par rapport aux moisissures totales et on remarque que, mis à part l'ensachage manuel (E) de la tourbière 9 où seulement 42% des moisissures ont pu être identifiées, le pourcentage de moisissures comptées qui furent identifiées oscille entre 70 et 90%. Dans ce graphique, T=Tamis, E=Ensachage manuel, M=Mélange et P=Presse.

La figure 9 nous montre les espèces de *Penicillium* les plus couramment retrouvées (3 sites ou plus) tandis que les figures 10 et 11 montrent respectivement les espèces de *Penicillium* retrouvées moins fréquemment et les autres taxons comme *Torulomyces* sp. *Paecilomyces* sp. etc. *Penicillium* spp inclut tous les *Penicillium* non identifiés à l'espèce. Les points noirs représentent les concentrations en UFC/m^3 retrouvées dans les usines saisonnières tandis que les usines annuelles sont représentées par les points blancs.

Tableau 8 : Espèces de *Penicillium* identifiées aux différents sites avec leur fréquence en % par rapport à la population totale de moisissures

Tourbière	1	2	3	4	5		6		7		10		11	12	14		8		9				13		
Site / *Espèce*	P	P	P	P	T	P	T	P	T	P	T	P	P	P	T*	P	E	P	T	E	P	P	T*	M	P
P. asiaticum	1,2				2,5							0,2									2,1	5,6			
P. aurantiogriseum													0,9				0,9				7,3	2,5			
P. brevicompactum																					1,4	2,2			
P. camescens																		0,6							
P. chrysogenum																					1,4				
P. citreonigrum		1,0	2,2	1,8	4,9	8,8		1,1	1,8	7,3	7,2	7,1	16,4	9,5	21,4	29,6	15,5	15,9		6,7	4,7	7,9	21,4	21,4	18,9
P. corylophilum																									0,8
P. crustosum															1,0								1,0	1,3	
P. decumbens					0,8	0,7											1,4	1,4				2,2			
P. dentricum																			0,7		2,1				
P. echinulatum																					1,3				
P. fellutanum	1,1					3,7															1,3			0,7	1,4
P. funiculosum																	0,3								
P. janczewskii																	0,4								
P. janthinellum	33,8	0,8	4,2	5,9	0,7		6,5	3,1		0,7	13,9	11,9	24,4	0,6	8,1	5,5	1,7	4,4	25,9		5,4	13,8	8,1	8,4	3,7
P. melinii									0,7						1,1				1,4				1,1		
P. miczynskii		13,4	28,6	1,6	26,3	11,4	29,5	22,3	17,7	10,1	6,6	9,4	21,0	3,4	8,1	15,2	0,7	0,6	0,4	13,3			8,1	8,4	16,2
P. purpurescens					1,6	3,1			0,2		0,4				2,9	3,6							2,9	2,6	7,3
P. roseicrium				1,4	18,3	13,4			,09			0,2	0,4		0,6	2,0		0,6	7,6		3,3		0,6	0,7	
P. roqueforti																			30,2		2,6				
P. rozedanum																	5,6	5,0							
P. restrictum	42,5	5,2	14,6	35,6	1,0	1,0	13,4	13,0	13,5	23,3	15,3	12,2	5,9	6,1	7,6	6,9	18,0	23,4	0,8				7,6	6,3	6,4
P. rugulosum						4,6							0,9				1,3				3,6				
P. simplicissimum	1,9		5,1	2,7			1,4		0,6	1,4			3,5												1,3
P. spinulosum		0,5		0,3	9,4	5,4	0,4		1,6	4,1	1,0	1,1	1,4	0,6	2,6	1,9	3,8	4,4	11,1		2,6	9,0	2,6		2,4
P. waksmanii		0,3					0,4																		0,8
Penicillium sp	3,7			0,6	2,3	11,8	3,0	5,8		0,3	0,4											2,5			
Penicillium sp R248		1,9	3,7	0,3	1,1				4,3	3,0					1,2	1,1							1,2		

Tableau 9 : Moisissures (autre que *Penicillium)* identifiées aux différents sites avec leur fréquence en % par rapport à la population totale de moisissures

Tourbière	1	2	3	4	5		6		7		10		11	12	14		8		9				13		
Site / *Espèce*	P	P	P	P	T	P	T	P	T	P	T	P	P	P	T*	P	E	P	T	E	P	P	T*	M	P
Asp. fumigatus						1,0									0,5						1,4		0,5		3,2
Asp. sydowii						1,9																3,7			
Asp. terreus					0,8																				
Eurotium chevalieri			2,2																						
Aspergillus sp														0,2											
Alternaria sp		0,3																							
Cladosporium sp	4,8					2,2								0,3			0,7				3,3	2,2		1,5	
Exophiala sp																						3,7			
Geotricum sp																						2,2			
Mortierella sp					3,7	1,9																			
Mucor sp																				22,2					
Paecilomyces sp		0,4		11,3	2,1	0,9	1,8	7,1	9,1	3,8		0,2					0,6	0,6	1,9		6,1	3,0		1,5	1,5
Sporothrix sp		0,3																							
Torulomyces sp		58,9	22,7	23,9	6,3	11,3	33,8	29,1	25,6	37,5	36,4	38,7	11,9	44,3	15,0	17,8	36,0	29,0	14,6		6,7	1,6	15,0	20,0	13,3
Trichoderma sp						2,8																			
autres														0,9			0,3	0,6				2,8			
Mycelium sterile														0,2					0,3		2,7	5,8			1,3
																					1,4				

Tableau 10 : Fréquence de principaux genres de moisissures retrouvés aux différents sites

Tourbière	1	2	3	4	5		6		7		10		11	12	14		8		9				13		
Site / *Espèce*	P	P	P	P	T	P	T	P	T	P	T	P	P	P	T*	P	E	P	T	E	P	P	T*	M	P
%total identification	89,0	83,5	83,4	85,4	78,5	89,2	90,2	81,5	76,0	91,1	81,2	80,9	86,7	74,1	70,3	83,5	87,3	86,4	84,9	42,2	62,5	71,5	70,3	74,2	78,1
% *Penicillium* sp	84,2	23,9	58,5	50,2	65,6	67,2	54,6	45,3	41,3	49,8	44,8	42,0	74,8	28,1	54,8	65,7	49,7	56,2	68,1	20,0	40,9	46,5	54,8	51,2	58,8
% *Paecilomyces* sp.		0,4		11,3	2,1	0,9	1,8	7,1	9,1	3,8		0,2					0,6	0,6	1,9		6,1	3,0		1,5	1,5
% *Torulomyces* sp.		58,9	22,7	23,9	6,3	11,3	33,8	29,1	25,6	37,5	36,4	38,7	11,9	44,3	15,0	17,8	36,0	29,0	14,6		6,7	1,6	15,0	20,0	13,3
% autres taxons	4,8	0,3	2,2	0,0	4,3	9,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,5	0,0	1,0	0,6	0,3	22,2	8,8	20,4	0,5	1,5	4,5

* *Les usines 13 et 14 partagent le même tamis*

c - Détermination de la quantité de poussière inhalable

Les figures 12 et 13 montrent la concentration moyenne de poussière inhalable (mg/m^3) dans une journée, échantillonnée en poste fixe (figure 12) aux différents sites de prélèvement des échantillons environnementaux (T = tamis, P = presse-ensacheuse et E = ensachage manuel) ainsi que la poussière inhalable prélevée sur les travailleurs des ensacheuses (figure 13). On remarque d'une part, que les usines annuelles ont une atmosphère beaucoup moins empoussiérée que les usines saisonnières ($p=0,0287$) et, d'autre part, que dans une même usine, l'opération de tamisage génère plus de poussière que l'ensachage ($p=0,0071$). À la presse-ensacheuse, les usines 2 et 3 génèrent des quantités de poussière respectivement de 360 et 246 mg/m^3 alors que les quantités de poussières en échantillonneurs personnels posés sur les ensacheurs à ces postes sont respectivement de 1 à 4 mg/m^3 pour l'usine 2 (travailleurs portant des cagoules) et de 369 à 388 mg/m^3 pour l'usine 3. Les quantités maximales auxquelles les travailleurs des presses-ensacheuses sont exposés peuvent aller jusqu'à 695 mg/m^3. Il n'existe aucune corrélation entre les postes fixes et les mesures sur les personnes ($r=0,0985$) par contre, les taux de poussière corrèlent avec les moisissures ($p=0,0022$) et les bactéries ($p=0,0045$).

d - Endotoxines

Les endotoxines ont été mesurées par la méthode classique chromogénique LAL cependant, cette méthode n'étant pas spécifique aux endotoxines et mesurant à la fois les endotoxines et les (1-3)ß-d-Glucan présents dans les moisissures, elle n'a pas permis d'obtenir des résultats utilisables.

3.2.1.2 Tourbe

a - Décompte des microorganismes

Le tableau 11 représente les comptes de moisissures, bactéries et % d'humidité dans les échantillons de tourbe en cours de procédé, prélevés soit dans les réserves, soit dans les sacs simultanément avec les prélèvements d'air dans les usines annuelles comparativement aux usines saisonnières. Ces valeurs sont exprimées en UFC/g de tourbe sèche et représentent la médiane pondérée des 3 usines annuelles par rapport à la médiane pondérée des 11 usines saisonnières.

Tableau 11 : Valeur médiane et étendue des données pour les moisissures comptées sur RBA, bactéries comptées sur TSA et humidité, dans la tourbe des usines annuelles, comparée aux usines saisonnières

	Moisissures médiane (étendue) UFC/g*	Bactéries médiane (étendue) UFC/g*	% d'humidité médiane (étendue)
Usines annuelles n=3	$1,01x10^7$ ($6,44x10^6$ – $2,29x10^7$)	$4,17x10^{5\,a}$ ($3,61x10^4$ – $1,19x10^7$)	$57,4^a$ (44,35 – 59,55)
Usines saisonnières n=11	$3,63x10^6$ ($1,02x10^5$ – $1,28x10^7$)	$2,67x10^{4\,b}$ ($3,08x10^3$ - $1,20x10^5$)	$29,0^b$ (21,92 – 38,10)
Total	$4,47x10^6$ ($1,02x10^5$ – $2,39x10^7$)	$4,01x10^4$ ($3,08x10^3$ – $1,19x10^7$)	31,9 (21,92 – 59,55)
P	0,1396	0,0313	<0,0001

Les lettres différentes indiquent une différence statistique ($p<0,05$). Les comparaisons sont effectuées à l'intérieur d'une colonne

** poids sec*

Le tableau 12 donne les comptes de moisissures, bactéries et % d'humidité pour les différentes catégories d'échantillons toutes usines confondues. On retrouve donc des échantillons de tourbe prélevés dans les bacs de réserve qui représentent la tourbe travaillée dans la salle des tamis et des échantillons de tourbe prélevés dans les sacs à l'ensachage. Comme dans le tableau précédent, ces résultats sont exprimés en UFC/g de tourbe sèche et représentent la médiane par site basée sur la médiane de 9 résultats par usine (trois échantillonnages répartis dans la journée, chacun étant traité en triplicata). Si on compare les usines saisonnières par rapport aux usines annuelles (tableau11), les concentrations de moisissures ne sont pas significativement différentes contrairement aux bactéries et à l'humidité.

Tableau 12 : Valeur médiane et étendue des données pour les moisissures comptées sur RBA, bactéries comptées sur TSA et humidité dans la tourbe, pour les différents sites d'échantillonnage toutes usines confondues

	Moisissures médiane (étendue) UFC/g*	Bactéries médiane (étendue) UFC/g*	humidité médiane (étendue) %
1-Réserve humus** n=1	$5,12x10^5$	$7,2x10^5$	66,7
2-Réserve terreau léger ** n=1	$6,37x10^6$	$5,62x10^6$	64,4
3-Réserve mousse de tourbe n=16	$3,17x10^6$ ($1,81x10^4$ - $3,80x10^7$)	$2,67x10^4$ ($2,97x10^3$ - $1,58x10^5$)	33,2 (19,27 – 61,20)
4-Sac n=15	$4,21x10^6$ ($8,83x10^4$ - $1,84x10^7$)	$2,61x10^4$ ($3,18x10_3$ - $7,15x10^5$)	32,4 (20,50 – 61,73)
P (entre 3 et 4)	0,9668	0,1634	0,4728

** poids sec*

*** une seule valeur, pas une médiane ou moyenne.*

Le nombre d'échantillons de mousse de tourbe provenant des bacs de réserve est supérieur aux échantillons prélevés dans les sacs, les réserves dans certaines usines étant constituées de mélanges de différentes savanes ou provenances. On n'observe aucune différence significative entre la tourbe dans la réserve et la tourbe ensachée. Les figures 14 et 15 illustrent respectivement les concentrations de bactéries et de moisissures exprimées en UFC par gramme de tourbe sèche dans les échantillons de tourbe prélevés aux différents sites dans les différentes usines. Ces concentrations se situent entre 10^3 et 10^5 UFC par gramme de tourbe sèche pour les bactéries avec un pic à 10^7 pour l'usine 9 qui traite plus de terre noire et d'humus que de mousse de tourbe. Pour les moisissures, les concentrations oscillent entre 10^5 et 10^7 UFC/gramme de tourbe sèche, les valeurs inter-sites dans chaque usine étant peu différentes.

b - Identification des microorganismes

Nous avons isolé 750 moisissures à partir de RBA et 457 à partir de SDA. Comme pour les identifications des échantillons d'air, seuls les *Penicillium* et quelques *Aspergillus* ont été identifiés à l'espèce et les autres moisissures ont été identifiées au genre. Une espèce de levure isolée dans les échantillons de la tourbière 13 à des concentrations allant jusqu'à 1,9 x 10^4 UFC/g de tourbe sèche, a été identifiée et appartient au genre *Trichosporon*. Les tableaux 13a et 13b représentent les pourcentages de chaque espèce de *Penicillium* identifiée par rapport au total des moisissures comptées dans les usines saisonnières (13a) et annuelles (13b), les parties ombrées soulignant l'espèce majoritaire dans les différentes usines, aux différents sites. De façon générale dans une usine, une même espèce sera majoritaire à la fois dans la réserve et le sac. Les espèces les plus souvent retrouvées sont *P. citreonigrum* (28 fois sur 33 sites,), *P. janthinellum* (29/33), *P. miczynskii* (26/33) et *P. restrictum* (23/33) cette dernière espèce étant pratiquement absente de la tourbière 9. Les espèces en caractère gras se retrouvent exclusivement dans la tourbe. De la même façon dans le tableau 14 on retrouve les espèces autres que *Penicillium* retrouvées dans la tourbe avec une prédominance pour *Torulomyces* spp. retrouvées dans 31 sites sur 33 et présentes dans toutes les tourbières. Le tableau 15 indique le % total de moisissures identifiées par rapport au total de moisissures comptées et on remarque que de 60 à 96 % des moisissures ont été identifiées *Penicillium* sp. occupant de 13 à 86% des moisissures comptées. D'autre part, lorsque les *Penicillium* ne sont pas majoritaires (tourbière 2, 10 et 12), c'est T*orulomyces* sp. qui le devient et ceci est illustré dans les figures 15(a) et 15(b) représentant la répartition des *Penicillium*, *Paecilomyces* et *Torulomyces* identifiées respectivement dans les usines saisonnières et annuelles (R = réserve et S = sac). La figure 16 nous montre les espèces de *Penicillium* les plus couramment retrouvées (3 sites ou plus) tandis que les figures 17 et 18 montrent respectivement les espèces de *Penicillium* retrouvées moins fréquemment et les autres taxons comme *Torulomyces* spp. *Paecilomyces* spp. etc. *Penicillium* spp inclut tous les *Penicillium* non identifiés à l'espèce. Les points noirs représentent les concentrations en UFC/m^3 retrouvées dans les usines saisonnières tandis que les usines annuelles sont représentées par les points blancs.

Tableau 13a : Espèces de *Penicillium* identifiées dans la tourbe des usines classiques avec leur fréquence en % par rapport à la population totale de moisissures

Tourbière	1		2		3		4		5		6		7		10		11			12			14	
Site / *Espèce*	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R1	R2	S	R1	R2	S	R	S
P. adametzii																								
P. aurentiogriseum																								
P. brevicompactum																								
P. canescens																								
P. chrysogenum																								
P. citreonigrum			4,6	4,7			6,8	5,9	5,3	4,8	5,9	2,4	3,2	5,5	3,6	6,4	26,3	27,0	20,4	1,2	1,5		42,3	36,1
P. corviophilum																								
P. crustosum																								
P. decumbens									1,4				1,2	1,9				0,6	0,4					
P. dentricum																								
P. echinulatum																								
P. jelluanum											0,4													
P. funiculosum																	5,3							
P. janczewskii																								
P. janthinellum	24,6	28,6	0,4	0,6	6,0	2,1	1,7	5,5	5,6	1,4		0,4	1,1	0,4	22,8	8,6	21,8	15,8	15,2	0,6			7,6	4,0
P. melinii																	5,0	0,7						
P. miczynskii			2,6	2,25	42,9	31,2		0,4		1,2	4,1	13,4	6,2	8,1	12,3	7,4	2,1	10,2	30,0	8,4	5,4	6,3	12,1	10,4
P. purpurescens													0,5							0,4			12,8	0,6
P. raistrickii					0,3	2,4		0,9	14,0	18,5					1,2	1,4	5,6	2,1	0,3	0,6			1,0	1,1
P. roquefortii																								
P. resedanum																								
P. restrictum	44,2	48,2	2,3	5,7		1,8	24,5	28,6			8,2	16,2	17,0	18,3	2,2	2,2	3,5			0,8	6,4	4,8	1,3	0,5
P. ruguiosum																								
P. simplicissimum					8,3	5,5			3,7	8,5								4,95	0,3					
P. spinulosum					1,3			0,4	0,9					0,95	0,35	1,15		0,6		3,4		1,4	3,3	0,6
P. waksmanii																								
Penicillium sp			1,7	3,85	1,6	0,4	0,6		9,9	1,4	3,5	5,2	2,75	1,2		0,4			1,5	0,5				0,6
Penicillium sp R248					8,4	1,6					0,8	0,7	0,85	0,4	2,3	2,3		3,8	4,1	1,2	1,4	0,4	5,6	4,5
Penicillium sp. R159/T										8,0														
P. vinaceum											1,8													
P. capsulatum												1,4												
P. glabrum													0,7											
P. purpurogenum														0,8										
P. thomi																		0,8						
P. hirayamae																				0,4	0,4	0,6		

Tableau 13b : Espèces de *Penicillium* identifiées dans la tourbe des usines annuelles avec leur fréquence en % par rapport à la population totale de moisissures

Tourbière	8		9					13		
Site / *Espèce*	R	S	R1	R2	R3	S1	S2	R	S	
P. adametzii										
P. aurentiogriseum										
P. breviconpiactum										
P. canescens										
P. chrysogenum										
P. citreonigrum	1,3	4,5	20,6	36,1	19,9	17,0	15,8	37,0	27,8	
P. corviophilum										
P. crustatum										
P. decumbens										
P. dentricum										
P. echinulatum										
P. jelluanum										
P. funiculosum										
P. janczewskii										
P. janthinellum	2,9	4,2	3,4	23,7	4,2		13,3	2,7	6,7	
P. melinii										
P. miczynskii			38,6		10,2	14,3	2,1	15,7	3,6	
P. purpurescens									1,5	
P. raistrickii	0,8	2,2	1,4		4,2		10,1			
P. roquefortii										
P. resedanum	8,3	8,1								
P. restrictum	13,1	13,0			3,03				1,5	
P. ruguiosum										
P. simplicissimum				10,5	7,2		2,1			
P. spinulosum	2,85	4,2	1,2		2,2	3,3	1,1	0,7	20,5	
P. waksmanii										
Penicillium sp						1,7				
Penicillium sp. R248			3,9		8,6			3,0	4,7	
Penicillium sp. R159/T	**65,0**	9,1								
P. vinaceum										
P. capsulatum										
P. glabrum										
P. purpurogenum										
P. thomi										
P. hirayamae										

R1 = Réserve mousse de tourbe
R2 = Réserve humus
R3 = Réserve terreau léger
S1 = Sac terreau léger
S2 = Sac terre à jardin

Tableau 14 : Moisissures (autre que *Penicillium)* identifiées dans la tourbe avec leur fréquence en % par rapport à la population totale de moisissures

Tourbière	1		2		3		4		5		6		7		10		11			12			14	
Site / *Espèce*	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R1	R2	S	R1	R2	S	R	S
Asp. fumigatus			0,5	1,0		0,8	4,9	0,7												4,6	14,9	5,5		0,6
Asp. ochraceus																								
Asp. terreus																								
Eurotium chevalieri																								
Aspergillus sp.																								
Alternaria sp.																								
Cladosporium sp.																				0,7				
Exophiala sp.																								
Geotricum sp.																								
Mortierella sp.			1,9	0,5	0,3				6,8	7,0			0,2				13,5	0,6		0,2				
Mucor sp.							0,85	0,4																
Paecilomyces sp.	10,1	3,7		1,4	1,8	0,4	28,6	14,6	36,1	17,7	22,1	15,9	18,9	24,5		0,4					7,3	0,8	2,3	
Sporotrix sp.																								
Torulomyces sp.		10,5	69,1	72,5	9,3	12,9	19,4	24,8	7,1	20,9	27,4	32,5	31,7	10,3	49,8	62,4	10,5	4,6	11,6	64,8	56,0	76,2	6,4	32,3
Trichoderma sp.					0,3					1,6														
autres																		1,1						
Mycelium stérile																								
Zygorrhynchus sp.			0,4		0,35	0,5																		
Trichosporon sp.											2,85													

Tourbière	8		9				13		
Site / *Espèce*	R	S	R1	R2	R3	S1	S2	R	S
Asp. fumigatus							4,2		
Asp. ochraceus									
Asp. terreus									
Eurotium chevalieri									
Aspergillus sp.							4,2		
Alternaria sp.									
Cladosporium sp.	0,2	2,0							
Exophiala sp.						1,0			
Geotricum sp.									
Mortierella sp.			1,7		3,0	2,9	3,2		1,5
Mucor sp.									
Paecilomyces sp.	5,0	13,0	1,2		4,2	1,7	9,4		2,8
Sporotrix sp.									
Torulomyces sp.	26,3	26,2	20,2		14,9	2,9	1,8	29,5	10,5
Trichoderma sp.		0,3		2,1					
autres						33,9	4,2		
Mycelium stérile									
Zygorrhynchus sp.									
Trichosporon sp.								0,6	
Verticillium sp.						2,5			
Zygomycète							2,1		

R1 = Réserve mousse de tourbe
R2 = Réserve humus
R3 = Réserve terreau léger
S1 = Sac terreau léger
S2 = Sac terre à jardin

Tableau 15 : Fréquence des principaux genres de moisissures retrouvés dans la tourbe

Tourbière	1		2		3		4		5		6		7		10		11			12			14	
Site / *Espèce*	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R1	R2	S	R1	R2	S	R	S
%total identification	79	91	84	93	81	60	87	82	91	87	76	88	84	72	95	92	91	71	85	87	94	96	95	91
% *Penicillium* sp	68,9	76,8	12,6	18,6	69,0	46,2	38,2	42,2	41,0	39,8	23,7	39,6	33,2	37,2	45,2	29,2	67,0	64,7	73,4	21,3	39,7	19,0	86,3	58,7
% *Paecilomyces* sp.	10,1	3,7		1,4	1,8	0,4	28,6	14,6	36,1	17,7	22,1	15,9	18,9	24,5		0,4					7,3	0,8	2,3	
% *Torulomyces* sp.		10,5	69,1	72,5	9,3	12,9	19,4	24,8	7,1	20,9	27,4	32,5	31,7	10,3	49,8	62,4	10,5	4,6	11,6	64,8	56,0	76,2	6,4	32,3
% autres taxons			2,3	0,5	0,9	0,5	0,8	0,4	6,8	8,6	2,8		0,2				13,5	1,7		0,9				

Tourbière	8		9				13		
Site / Espèce	R	S	R1	R2	R3	S1	S2	R	S
%total identification	96	87	92	72	82	81	74	89	81
% *Penicillium* sp	64,5	45,3	68,9	69,9	59,9	36,1	44,9	58,9	66,2
% *Paecilomyces* sp.	5,0	13,0	1,2		4,2	1,7	9,4		2,8
% *Torulomyces* sp.	26,3	26,2	20,2		14,9	2,9	1,8	29,5	10,5
% autres taxons	0,2	2,3	1,7	2,1	3,0	40,3	17,9	0,6	1,5

R1 = Réserve mousse de tourbe
R2 = Réserve humus
R3 = Réserve terreau léger
S1 = Sac terreau léger
S2 = Sac terre à jardin

c - Détermination de l'humidité de la tourbe

L'humidité de chaque échantillon de tourbe prélevée a été mesurée et elle est exprimée en % dans la figure 19. On voit que dans les usines annuelles où on manipulait en général

une tourbe plus humide que les usines saisonnières, avec des médianes respectives de 57,4% et 29,0%. Cette différence est significative (p=<0,0001).

d - Décompte des bacilles acido-alcoolo-résistants

Les 33 échantillons de tourbe prélevés dans les différentes usines ont été testés en parallèle avec un échantillon de tourbe inoculé avec une quantité connue de mycobactéries qui a subi la même décontamination que les échantillons de tourbe pour déterminer la quantité de mycobactéries éliminées par le processus de décontamination et ainsi nous permettre de calculer le facteur de correction. Suite à cette inoculation, on peut dire qu'on sous-estime les mycobactéries comptées d'un facteur de l'ordre de 10^3 à 10^4 (minimum $1,04x10^2$ et maximum $1,58x10^5$). Les valeurs exprimées dans la figure 20 sont corrigées. On retrouve des mycobactéries dans tous les échantillons (nous n'avons pas de valeur pour le sac de terreau léger à cause d'un problème de manipulation) et les concentrations varient de $7,04x10^4$UFC/g de tourbe sèche pour le sac de la tourbière 4 à $1,37x10^8$UFC pour l'humus de la tourbière 9. Dans l'ensemble, ce sont les tourbières 9 et 13 qui travaillent une tourbe contenant le plus de mycobactéries.

3.2.1.3 - Corrélations air-tourbe

Si on compare les concentrations totales de bactéries et de moisissures dans l'air et dans la tourbe, on ne retrouve aucune corrélation comme on le voit au tableau 16.

Tableau 16 : Corrélations air et tourbe

	Bactéries dans l'air	Moisissures dans l'air
Bactéries dans la tourbe	r=-0,14835 p=0,5978	
Moisissures dans la tourbe		r=0,28571 p=0,3019

Si on regarde la biodiversité, on retrouve les mêmes espèces majoritaires dans l'air et dans la tourbe soient *P. citreonigrum, P. janthinellum, P. miczynskii* , et *P. restrictum* avec absence de cette espèce dans la tourbière 9. On remarque également l'absence de *Torulomyces* sp. dans la tourbière 1 alors que cette espèce est majoritaire dans la tourbière 2 et dans la tourbière 12 autant dans l'air que dans la tourbe. Dans les tableaux 10 et 14, on remarque qu'en général, *Paecilomyces* spp. est retrouvé autant dans la tourbe que dans l'air (sauf dans les tourbières 1, 3, 12 et 14 qui sont toutes quatre saisonnières). Quant à *Trichosporon* sp., levure retrouvée dans les échantillons de tourbe des tourbières 13 et 6, elle n'a pas été retrouvée dans l'air de cette tourbière. Il n'a pas été possible de déterminer les concentrations de mycobactéries dans l'air à cause de la limitation de nos méthodes. Il a été impossible d'utiliser les Andersen avec incubation directe sur les géloses sans traitement pour éliminer la plupart des bactéries mésophiles et des moisissures envahissantes puisque les mycobactéries croissent beaucoup plus lentement. D'autre part, avec la limite de détection de $2,0x10^3$ UFC/m^3 pour les AGI-30, nous

risquions de ne rien retrouver après la décontamination qui tue une certaine proportion des mycobactéries.

3.2.2 Santé

3.2.2.1 Questionnaire

Au total, 189 travailleurs ont participé à l'étude et la description des données démographiques est présentée au tableau 17.

Tableau 17 : Données démographiques des travailleurs étudiés

		Nbre de travailleurs /type d'usine	Age Moyenne ± écart-type	Genre		Tabac		Tests cutanés (n^{bre} de sujets)	Nbre de sérums recueillis
				M	*F*	*F*	*NF*		
Usine	*Saisonnière*	87	37,3 ± 12,7	184	5	35	72	107	87
	Annuelle	68				36	46	82	68
Contrôles non exposés									43

Dans la colonne non-fumeurs (NF) nous incluons les anciens fumeurs et il n'y a pas de différence significative (p=0,13) entre le nombre de fumeurs dans les deux types d'usine. Comme dans les scieries (Duchaine 1999) où 98% des travailleurs étaient des hommes, on retrouve dans notre étude 97,3% d'hommes. 155 travailleurs sur les 189 participants ont accepté de subir une ponction veineuse.

La fréquence des symptômes respiratoires est présentée au tableau 18

Tableau 18 : Réponse au questionnaire des travailleurs avec symptômes respiratoires et liens avec le travail

	Bronchite chronique	Asthme	Sibilance		Dyspnée	
			Associée au travail	*Non associée*	*Associée au travail*	*Non associée*
Nombre de travailleurs	11/188	21/186	8/189	24/189	0	16/189
%	5,8	11,3	4,2	12,7	0	8,5
			Total = 16,9%		Total = 8,5%	

Sur les 8 travailleurs déclarant de la sibilance associée au travail, 2 (25%) souffraient d'asthme. On peut donc dire que pour les 6 autres (3,15% du total des travailleurs) le symptôme était relié au travail. D'autre part, 5,8% des travailleurs souffraient de bronchite chronique (selon le critère de toux et d'expectoration quotidienne au moins 3

mois par année durant 2 années consécutives) et ceci peut être expliqué par le tabagisme et non par le travail comme le montre le tableau 19.

Tableau 19 : Prévalence de la bronchite chronique en association avec le tabagisme

Fréquence (%)	Bronchite chronique +	Bronchite chronique -	Total
Fumeurs	8 (72,7)	62 (35,4)	70
Non fumeurs	3 (27,3)	113 (64,6)	116
Total	11	175	186

3.2.2.2 Fonctions respiratoires

L'analyse des fonctions respiratoires porte sur 3 paramètres obtenus par la mesure des débits expiratoires forcés : le volume maximal expiratoire en une seconde (VEMS), la capacité vitale (CVF) et le rapport de ces deux (VEMS/CVF) connu sous la désignation « Tiffeneau ». Les résultats exprimés en % de la valeur prédite (c'est-à-dire que les valeurs tiennent compte des variables: âge, sexe et taille) et le Tiffenau sont exprimés dans la figure 21. Une comparaison de ces paramètres a été effectuée pour les travailleurs oeuvrant dans les tourbières saisonnières par rapport aux travailleurs des tourbières annuelles. On remarque que le Tiffeneau est significativement plus bas pour les travailleurs des tourbières annuelles (P=0,05), cependant ces valeurs sont considérées comme normales. Les résultats sont présentés dans le tableau 20.

Tableau 20 : Comparaison des fonctions respiratoires des travailleurs par type d'usine

Type d'usine	VEMS % valeur prédite Moyenne ± ET	CVF % valeur prédite Moyenne ± ET	TIFF Moyenne ± ET
Saisonnière	100,31 ± 15,19	99,01 ± 15,38	0,8173 [a] ± 0,0619
Annuelle	100,26 ± 15,59	101,26 ± 14,07	0,7978 [b] ± 0,0727
P	0,98	0,31	0,05

Ces résultats sont corrigés pour le tabagisme par analyse de covariance

3.2.2.3 Tests cutanés

Cinquante-cinq pour cent des travailleurs ont présenté une réaction cutanée à 1 ou plusieurs allergènes (moyenne des deux plus grands diamètres de l'induration égale ou supérieure à 3 mm) des 23 antigènes testés. Parmi ces travailleurs, 56% travaillaient dans une entreprise classique alors que 54% travaillaient dans une entreprise annuelle. Il n'y a

donc pas de différence entre les deux groupes de travailleurs. Les résultats sont présentés dans le tableau 21.

Tableau 21 : Comparaison des réactions cutanées positives selon le type d'entreprise

	Réaction +		Réaction -		Nombre Total
	Nombre	*%*	*Nombre*	*%*	
Usine saisonnière	60	56,1	47	43,9	107
Usine annuelle	44	53,7	38	46,3	82
Total	104	55*	85	45	189

**8 travailleurs (7,7% des travailleurs positifs) avaient une réaction positive à la sphaigne.*

En résumé, si on regarde les différents tableaux précédents, les travailleurs des deux types d'entreprise ne présentent aucune différence significative pour la prévalence de la bronchite chronique, l'atopie, la sibilance reliées au travail et la dyspnée. D'autre part, pour l'ensemble, il ne semble pas y avoir d'atteinte fonctionnelle significative car en moyenne, les valeurs sont près du 100% des valeurs prédites.

3.2.2.4 Sensibilisation des travailleurs

Comme le montrent les tableaux 8 et 9, les espèces les plus fréquemment retrouvées sont *P. citreonigrum* (21fois sur 24 sites, le tamis des usines 13 et 14 étant commun et ne comptant que pour un site), *P. janthinellum* (21/24), *P. miczynskii* (21/24), *P. restrictum* (21/24) et *Torulomyces* sp. (22/24). Ces dernières ont été choisies pour tester la sensibilisation des travailleurs. Les sérums des travailleurs de la tourbière 13 ont de plus été testés contre *Trichosporon* sp. (voir identification des microorganismes dans la tourbe). *Mucor* spp. a été choisi comme témoin négatif puisqu'on ne le retrouve que dans une seule usine et à un seul site dans cette usine (ensachage manuel de l'usine 9).

a - Sensibilisation à un ou plusieurs antigènes

Les pourcentages de séropositivité par usine sont exprimés dans la figure 22 où le chiffre entre parenthèses indique le nombre de travailleurs par usine. On remarque que la sensibilisation peut aller jusqu'à 66% des travailleurs dans une usine, 40% dans 2 autres usines alors qu'aucun travailleur n'est sensibilisé dans certaines usines. Ces pourcentages représentent la somme des travailleurs d'une usine ayant réagi à au moins 1 antigène sur le nombre de travailleurs de cette usine. De façon générale, comme le montre la figure 23, la sensibilisation n'est pas spécifique à un antigène en particulier puisque dans une usine où les travailleurs sont sensibilisés, comme dans l'usine 8 par exemple, ils semblent sensibilisés à plusieurs antigènes isolés dans cette usine. Par contre ils ne répondent pas à *Mucor* spp., moisissure que nous avons choisie comme témoin négatif, ce genre n'étant pas retrouvé dans les tourbières en général. La sensibilisation des travailleurs de la tourbière 13 vis à vis de *Trichosporon* sp. n'apparaît pas dans la figure 23, car seulement 2 travailleurs sur 24 réagissaient très faiblement à cet antigène. Si on compare la

sensibilisation des travailleurs dans les deux types d'usines, on trouve un taux de sensibilisation significativement plus élevé (37%) dans les usines annuelles par rapport à 21% dans les usines saisonnières (p=0,03). Les résultats sont exprimés dans la figure 24.

b - Intensité de la réaction des travailleurs aux différents antigènes

Si on se réfère à la figure 25, on remarque que l'intensité de la réaction antigénique des travailleurs des usines saisonnières a tendance à être inférieure par rapport aux travailleurs des usines annuelles. Cette remarque est valable pour toutes les espèces de *Penicillium* testées, mais ne se vérifie pas pour le *Torulomyces* sp.

c - Influence du tabagisme sur la sensibilisation des travailleurs

Nous avons voulu voir si le tabagisme protégeait les travailleurs comme on l'observe dans différents milieux. La figure 26 nous montre que dans les usines saisonnières 9% des fumeurs sont sensibilisés contre 25% de non-fumeurs cependant cette différence n'est pas significative, par opposition à 39% de fumeurs sensibilisés dans les usines annuelles ce qui n'est pas différent des 35% de non-fumeurs dans cette catégorie d'usines. Par contre, on retrouve une différence significative dans la sérologie entre les fumeurs des deux types d'usines (9% contre 39% p=0,0227) ce qui suggère que les travailleurs des usines annuelles auraient pu perdre l'effet protecteur dû au tabagisme probablement parce que leur système immunitaire est continuellement sollicité. On remarque d'autre part, que lorsque les travailleurs sont sensibilisés, 50% le sont à 4 ou 5 antigènes, surtout chez les fumeurs

Si on regarde l'intensité de la sensibilisation des fumeurs, on remarque dans le tableau 22 que les fumeurs ont une réaction moins forte que les non fumeurs puisque très peu de travailleurs fumeurs ont une réaction d'intensité 3 ou 4.

Tableau 22 : Influence du tabagisme sur l'intensité de la sensibilisation

A	B	*P. restrictum*		*P. citreonigrum*		*P. miczynskii*		*P. janthinellum*		*Torulomyces* sp.		*Mucor* sp.	
		F	*NF*	*F*	*NF*	*F*	*NF*	*F*	*NF*	*F*	*NF*	*F*	*NF*
2	*C*	1/22 *4,5*	9/65 *13,8*	2/22 *9,1*	12/65 *18,5*	2/22 *9,1*	8/65 *12,3*	1/22 *4,5*	9/65 *13,8*	1/22 *4,5*	6/65 *9,2*	0/22 *0,0*	0/65 *0,0*
	A	6/28 *21,4*	6/40 *15,0*	8/28 *28,6*	7/40 *17,5*	7/28 *25,0*	9/40 *22,5*	7/28 *25,0*	5/40 *12,5*	2/28 *7,4*	2/40 *5,0*	0/28 *0,0*	1/40 *2,5*
3	*C*	1/22 *4,5*	1/65 *1,5*	0/22 *0,0*	2/65 *3,1*	0/22 *0,0*	1/65 *1,5*	0/22 *0,0*	2/65 *3,1*	1/22 *4,5*	3/65 *4,6*		
	A	0/28 *0,0*	1/40 *2,5*	0/28 *0,0*	0/40 *0,0*	0/28 *0,0*	0/40 *0,0*	2/28 *7,1*	1/40 *2,5*	0/28 *0,0*	1/40 *2,5*		
4	*C*	0,22 *0,0*	1/65 *3,1*	0/22 *0,0*	1/65 *1,5*	0/22 *0,0*	2/65 *3,1*	0/22 *0,0*	1/65 *1,5*	0/22 *0,0*	1/65 *1,5*		
	A	0/28 *0,0*	2/40 *5,0*	0/28 *0,0*	1/40 *2.5*	0/28 *0,0*	1/40 *2,5*	0/28 *0,0*	1/40 *2,5*	0/28 *0,0*	2/40 *5,0*		

I = intensité de la réaction; B = type d'usine; F = fumeur; NF = non fumeur ou ex-fumeur; en italique = %

d - Relation entre les fonctions respiratoires, la séropositivité et les tests cutanés

On observe une tendance à la baisse du FEV_1 chez les travailleurs séropositifs par rapport aux travailleurs séronégatifs (p=0,0715) par contre aucune relation n'existe avec les travailleurs présentant une réaction positive aux tests cutanés

3.2.2.5 Dosages des marqueurs de l'inflammation

Nous avons mesuré le taux d'IL-6, de TNF ainsi que le taux de CRP dans le sang. Puisque les prélèvements furent effectués tout au long de la journée (disponibilité des travailleurs), ces échantillons ont mené à des résultats difficilement comparables (nombre d'heures d'exposition pré-échantillonnage sanguin variait beaucoup). Nous expliquons les résultats erratiques et non utilisables par cette contrainte d'échantillonnage.

3.2.2.6 Relation santé-environnement

Il a été impossible d'analyser de façon fiable la relation santé-environnement. En effet, deux facteurs jouent dans cette analyse. D'une part, le nombre de travailleurs nous permet d'obtenir des comparaisons valables entre les usines saisonnières et annuelles, par contre le faible nombre (3) d'usines annuelles dont nous avons analysé l'environnement ne nous permet pas de faire une relation avec leur environnement.

3.3 Discussion

Les usines sont fortement contaminées par les bioaérosols (moisissures et poussière) et les usines saisonnières sont plus contaminées que les usines annuelles. Ceci est probablement dû à un système de dépoussiérage plus efficace dans ces usines, celles-ci étant, à ce que nous avons pu constater, plus modernes. Il existe une corrélation entre les quantités de poussière retrouvée et la concentration de moisissures et de bactéries dans l'air, ce qui appuie l'idée que plus il y a de poussière dans l'air plus l'atmosphère est contaminée par les microorganismes. Le site de tamisage est plus contaminé que le site d'ensachage, d'une part, à cause de la nature des opérations mais également parce que lors de cette opération, il n'y a aucun système de dépoussiérage.

Dans la tourbe, contrairement à l'air, les comptes de moisissures ne sont pas statistiquement différents des usines saisonnières par rapport aux usines annuelles, quoique les comptes dans ces dernières soient légèrement plus élevés. Il aurait fallu un plus grand nombre d'usines annuelles pour pouvoir faire une analyse fiable. Il est étonnant de constater que la tourbe qui est entreposée pendant plusieurs semaines voire plusieurs mois avant d'être traitée dans les usines annuelles ne soit pas plus contaminée que la tourbe traitée dans les usines saisonnières qui peut passer de la récolte à la mise en sac dans la journée ou en quelques heures. En effet, la décomposition de la matière organique humide continue lorsque la tourbe est en tas et le procédé aurait dû conduire à un accroissement de la quantité de microorganismes. Une augmentation de l'activité métabolique et une élévation de la température auraient alors pu créer une augmentation des microorganismes thermophiles comme il fut observé dans le foin (Duchaine 1996). Il aurait pu y avoir une évolution de la flore mésophile vers la flore thermophile. Ce qu'on a pu remarquer cependant, c'est que dans une usine saisonnière où la tourbe avait été entreposée au champ en tas pendant 4 mois avant d'être traitée en usine (tourbière 6), les concentrations de moisissures dans l'air ont atteint le taux le plus élevé de toutes les tourbières soit 10^8 UFC/m^3 d'air. Mise à part cette tourbière, les tourbes traitées dans les tourbières saisonnières venaient en général directement du champ ou bien avaient séjourné quelques jours en pile soit dans le champ soit dans la cour et n'avaient pas eu le temps de subir une décomposition significative ou un réchauffement.

L'empoussièrement est discuté de façon approfondie dans le volet 2, cependant on remarque que les niveaux de poussière inhalable sont jusqu'à 25 fois plus élevés que dans les scieries (Duchaine 2000). Les valeurs en poste fixe exprimées dans le volet 1 sont difficilement comparables à celles exprimées dans le volet 2 parce que nous avons calculé les quantités de poussière strictement pendant les temps d'échantillonnage des microorganismes et non en continu comme dans le volet 2 qui se voulait plus complet dans l'analyse de la poussière et de la ventilation. Les mesures de poussières effectuées en simultanée avec les mesures de microorganismes devaient servir aux études de corrélation poussière/microorganismes ce que n'aurait pas permis un échantillonnage sur des temps ou des sites différents. Comme mentionné précédemment, le fait que les usines annuelles plus modernes aient moins de poussière dans l'air confirme que leurs systèmes d'extraction de poussière sont plus efficaces.

Les microorganismes retrouvés dans la tourbe sont semblables à ceux que nous avions trouvés dans deux études précédentes (Cormier 1988 et Cormier 1998) où il y avait une

prévalence des genres *Penicillium* et *Torulomyces* (autrefois *Monocillium*). Nos résultats confirment les résultats de Kuster (Kuster 1963b et 1964) dans les tourbières irlandaises. La croissance de *Penicillium* est sans doute favorisée par le taux d'humidité de la tourbe dans le champ avant la récolte ce qui cause la détérioration. Comme Kuster l'a démontré, le genre *Paecilomyces* est également retrouvé autant dans l'air que dans les échantillons de tourbe par contre, nous n'avons pas retrouvé le genre *Mucor* comme on pourrait s'y attendre dans une tourbe qui aurait chauffé (Kuster 1964).

Dans l'ensemble, les microorganismes retrouvés dans la tourbe se retrouvent dans l'air des tourbières. Le fait qu'on ne retrouve *Paecilomyces* spp. que dans 50% des échantillons d'air des usines saisonnières alors qu'il est présent dans 91% des échantillons de tourbe de ces mêmes tourbières est probablement dû au fait que lorsqu'il n'a pas été isolé, il devait être attaché à de grosses particules de poussières (>15µm) qui sont peu récoltées par les AGI-30 (Chatigny 1989).

On retrouve le genre *Torulomyces* partout, sauf dans la tourbière 1. Ceci est sans doute dû à la nature de la tourbe elle-même, puisque cette tourbière ne se trouve pas dans la région de Rivière-du-loup comme beaucoup des tourbières que nous avons visitées. Des mycobactéries furent détectées et quantifiées dans la tourbe par culture. Elles ne furent pas quantifiées par culture dans les échantillons d'air puisque la procédure de décontamination ne pouvait être effectuée sur les échantillons d'air dans un temps raisonnable. Les échantillons d'air furent congelés et un autre projet présentement en cours permettra de déterminer la biodiversité des mycobactéries par PCR et clonage ainsi que la quantificaiton de *Mycobacterium* spp. par PCR quantitatif. Suite à cette étude, il sera possible de mesurer les IgG des travailleurs contre les espèces identifiées et quantifiées par biologie moléculaire. D'ores et déjà, les études de biodiversité confirment la présence de *Mycobacterium graceum*, *M. smegmatis*, *M. interjectum*, *M. malmoense* et *M. bohemicum*. Plusieurs de ces espèces ne furent jamais détectées dans l'air ni dans la tourbe. L'identification des isolats de la tourbe par PCR et séquençage confirme la présence de *M. avium* dans la tourbe (Bauer, 1999).

En présence d'un tel environnement, nous étions en droit de nous demander si les travailleurs couraient un risque pour leur santé et si ce risque était identique pour les deux types d'industrie (saisonnière et annuelle). En effet, les travailleurs des usines annuelles ont une prévalence de sensibilisation plus élevée que ceux des usines saisonnières (p=0,03). Dans notre étude préliminaire, la prévalence de sensibilisation aux antigènes fongiques était plus petite chez les fumeurs que les non-fumeurs comme démontré dans plusieurs études sur la maladie du poumon du fermier. Dans la présente étude, cet effet protecteur est perdu chez les travailleurs des usines annuelles bien que l'intensité des réactions ait tendance à être plus grande chez les non-fumeurs. Nous croyons qu'une exposition intense et continue aux antigènes pourrait être responsable de la sensibilisation des fumeurs et la grande prévalence de sensibilisation dans ces usines. D'autre part, la présence d'IgG spécifiques dans le sang tend à avoir un effet sur les fonctions respiratoires (p=0,07).

Aucun cas d'alvéolite allergique ne fut diagnostiqué. Puisque aucun test approfondi ne fut effectué (tomodensitométrie, rayon X pulmonaire et lavage bronchoalvéolaire), il est possible que des cas évoluant à bas bruit soient présents. Ceci pourrait être expliqué par la tendance à la baisse des fonctions respiratoires chez les séropositifs. La signification

des IgG est nébuleuse. Il fut suggéré que ces anticorps sont simplement des marqueurs d'exposition et qu'ils ne jouent aucun rôle dans la pathophysiologie de la maladie (Burell, 1981, Eduard, 1995). Mais, selon notre expérience et plusieurs publications, la présence d'anticorps est habituellement associée à une lymphocytose alvéolaire (Cormier, 1998; Cormier, 1984; Cormier, 1986). Même si la signification clinique de la lymphocytose alvéolaire est incertaine, la présence d'une haute prévalence de sensibilisation suggère que les travailleurs des tourbières sont à haut risque de développer l'alvéolite allergique. À titre de comparaison, les travailleurs des fermes laitières sont moins séropositifs aux antigènes causant l'alvéolite allergique (Cormier 1985) et 3/1000 travailleurs des fermes laitières sont atteints par l'alvéolite allergique (Cormier 1990). La faible prévalence de la maladie en comparaison à la prévalence de séropositivité peut expliquer pourquoi aucun cas ne fut diagnostiqué parmi les 189 travailleurs. Si nous avions englobé les travailleurs de l'étude préliminaire, la prévalence de cas d'alvéolite allergique aurait été de 2/201 travailleurs (189 de cette étude et 12 de l'étude préliminaire). Cette prévalence serait 3 fois plus élevée que dans les fermes laitières.

L'étude préliminaire avait été effectuée dans une usine annuelle et des cas d'alvéolite allergique y avaient été diagnostiqués. Les usines saisonnières sont plus contaminées que les annuelles. Ceci nous laisse supposer que la durée de l'exposition a un effet plus marqué que le niveau d'exposition sur la santé respiratoire. Toutefois, dans les deux types d'usines, les niveaux de bioaérosols sont très élevés.

4. Empoussièrement et ventilation (volet 2)

4.1 Matériel et méthodes

4.1.1 Empoussièrement et granulométrie

Ce volet étant réalisé en parallèle avec le volet 1 le choix des usines et des sites de prélèvement ont été identiques.

Selon le (RSST) Règlement sur la santé et sécurité du travail (Gouvernement du Québec, 2001), l'échantillonnage d'une poussière de nuisance doit être effectué à l'aide d'une cassette fermée à un débit de 2 L/min. L'utilisation d'un tel système de prélèvement entraîne une sous-évaluation de la concentration de la poussière dont le diamètre aérodynamique est supérieur à 20 µm. Pour cette raison, l'utilisation d'un capteur de poussière inhalable a été privilégiée. De plus, le quartz a été recherché dans le matériau de départ (tourbe) et dans l'air.

Deux types d'échantillonnage ont été réalisés dans chacune des tourbières soit en zone respiratoire des travailleurs pour documenter leur exposition et en air ambiant à des postes fixes près des postes de travail ou des sources d'émission pour documenter la qualité de l'air et la performance des moyens de contrôle.

L'exposition à la poussière inhalable a été évaluée pour le plus grand nombre possible de travailleurs oeuvrant dans la zone de tamisage et d'ensachage. Deux à quatre séries de prélèvements ont été faites tout au long de la journée.

Aux postes fixes, l'empoussièrement a été documentée pour différentes fractions granulométriques soient les fractions, inhalable, respirable et totale ainsi que pour la teneur en quartz. Les échantillonneurs ont été installés sur des trépieds à une hauteur d'environ 1 mètre : 1 ou 2 capteurs de poussière inhalable, 2 capteurs de poussière totale, 2 capteurs de poussière respirable et quartz et un impacteur à cascades. Le nombre de postes a varié de 2 à 4 selon la dimension des lieux. Ils étaient répartis aux mêmes sites de prélèvement que les sites du volet 1 (photos 2, 8 et 16). Le nombre de prélèvements à chaque poste était déterminé en fonction du taux d'empoussièrement des échantillonneurs. En général, quatre séries d'échantillons étaient effectuées dans une journée. Les impacteurs et les différents capteurs étaient reliés à des pompes d'échantillonnage personnel (Gillian et SKC) ou à des pompes à haut débit (Gast) munies d'orifices critiques destinés à maintenir le débit constant. Les débits étaient mesurés au début et à la fin de l'échantillonnage à l'aide d'un débitmètre à bulles de marque Gilibrator (IRSST, 2000).

Description des échantillonneurs utilisés

- *Capteur de poussière inhalable*

Le capteur utilisé est le IOM (Institute of Occupational Medicine) (SKC Eighty Four, PA). La méthode de traitement est décrite à la rubrique 3.1.3.2.

- *Capteur de poussière totale*

Le capteur utilisé est le système Accu-Cap. Il s'agit d'un réservoir dont la base est un filtre en chlorure de polyvinyle (PVC) d'une porosité de 0,8 µm, inséré dans une cassette

de 37 mm de diamètre. Le prélèvement se fait à un débit de 2 L/min. Ce système de réservoir évite les pertes sur les parois des cassettes et lors des travaux de pesée qui se produiraient avec des cassettes conventionnelles puisque les poussières de tourbe n'adhèrent pas parfaitement aux filtres de prélèvement. Les filtres étaient pesés avant et après l'échantillonnage selon la méthode IRSST 48-1. Pour les travailleurs, la valeur d'exposition moyenne pondérée sur 8 heures est de 10 mg/m^3 en poussière totale (Gouvernement du Québec, 2001).

- *Capteur de poussière respirable*

La cassette munie d'un système Accu-Cap est reliée avec un sélectionneur de particules, le cyclone de nylon de 10 mm Dorr-Oliver. Les filtres étaient pesés avant et après l'échantillonnage selon la méthode IRSST 48-1. Le quartz a été analysé par diffraction des rayons-X selon la méthode IRSST 206-2. Pour les travailleurs, la valeur d'exposition moyenne pondérée sur 8 heures est de 0,1 mg/m^3 en quartz respirable (Gouvernement du Québec, 2001).

- *Impacteur en cascades*

L'échantillonnage à l'aide d'un impacteur en cascades permet de déterminer le diamètre aérodynamique moyen de la masse de poussières recueillies en différentes tranches granulométriques. Les impacteurs pour échantillonnage personnel utilisés étaient de type Marple série 290 de la compagnie Sierra Instruments Inc (Graseby Andersen, Atlanta Ga). Différentes modifications ou ajouts ont été effectués sur certains de ces impacteurs personnels afin de faciliter la récupération de poussières sur le dessus du premier étage et permettre l'évaluation de la fraction inhalable d'un aérosol. Le débit d'échantillonnage utilisé lors des échantillonnages était de 2 L/min. Les substrats de montage utilisés étaient des membranes « mylar » enduites de silicone et utilisées conformément aux directives du manuel de l'utilisateur.

4.1.2 Ventilation

L'évaluation des paramètres aérauliques a pour but de documenter les conditions de ventilation existantes lors des échantillonnages de contaminants et ne vise pas à établir la conformité des installations de ventilation en regard de la réglementation notamment en ce qui a trait aux éléments reliés à la sécurité-incendie (explosivité) qui doivent être pris en compte lors de la conception et l'opération des systèmes de dépoussiérage mettant en cause des poussières combustibles. L'évaluation a pu être réalisée dans 6 des 13 établissements visités.

Les débits d'air dans les conduits ont été calculés à partir de la détermination des champs de vitesse d'air. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un anémomètre modèle 8357 (TSI Inc. St Paul MN) ou d'un tube de Pitot (Dwyer, High Wycombe, UK)). Le nombre et la position des points de mesure ont été établis à partir des recommandations indiquées dans le manuel Industrial Ventilation (ACGIH, 1998). Afin de ne pas perturber les activités de production, les mesures ont été effectuées, de façon générale, en dehors des périodes de production.

4.2 Résultats

4.2.1 Empoussièrement du milieu de travail et dosage du quartz

4.2.1.1 Poussière inhalable, totale et respirable

L'empoussièrement du milieu de travail a été évalué par la mesure de la poussière dans l'air des sections d'ensachage de la tourbe. Le tableau 23 présente pour chaque tourbière, pour tous les postes confondus, la concentration moyenne et l'écart-type ainsi que les valeurs minimum et maximum pour la poussière inhalable recueillie par les capteurs IOM, la poussière totale recueillie sur les filtres Accu-cap et la poussière respirable recueillie sur les filtres Accucap avec un cyclone.

Tableau 23 : Concentrations de poussières inhalables, totales et respirables dans l'environnement de travail, tous postes confondus

Tourbière #	Poussière inhalable (mg/m^3)					Poussière totale (mg/m^3)					Poussière respirable (mg/m^3)				
	n	*moyenne*	*Écart-type*	*Min*	*max*	*n*	*moyenne*	*Écart-type*	*Min*	*max*	*n*	*moyenne*	*Écart-type*	*Min*	*max*
1	20	12,9	1,9	10,4	14,6	15	11,2	7,5	6,5	24,5	12	1,1	0,3	0,8	1,5
2	18	431,6	272,0	221,0	972,0	14	237,1	88,8	137,7	372,3	12	16,6	4,1	11,5	22,5
3	18	333,8	137,1	196,1	568,0	12	255,0	146,7	113,5	486,0	12	18,7	12,2	8,1	41,0
4	15	127,1	68,1	46,3	213,2	11	50,6	22,9	25,0	69,0	10	4,2	2,9	1,2	7,4
5	20	65,8	81,4	0,9	260,5	9	10,4	10,2	0,8	25,0	8	2,6	1,8	0,9	5,5
6	8	239,4	164,0	95,1	540,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	18	95,9	107,7	8,4	339,7	18	57,8	76,3	21,0	304,0	12	1,5	0,7	0,7	2,6
8	22	17,5	15,4	4,3	41,9	12	3,4	1,9	1,2	5,8	12	0,4	0,2	0,2	0,6
9	22	2,7	1,9	0,9	6,1	12	1,4	0,4	0,8	1,9	9	0,3	0,1	0,1	0,5
10	27	210,2	79,4	69,9	284,7	32	91,9	21,2	62,8	114,0	23	2,2	0,8	1,3	3,2
11	18	159,4	21,2	142,5	198,3	26	92,6	6,7	82,3	99,6	14	6,8	0,7	6,1	7,9
12	17	27,7	5,8	21,0	37,3	14	17,5	5,4	10,5	26,0	12	0,5	0,4	0,0	0,9
13-14	23	96,2	86,4	6,1	283,4	28	71,7	81,6	4,1	212,5	23	3,5	3,9	0,7	12,7

4.2.1.2 Granulométrie des poussières

Le tableau 24 rapporte pour chacune des tourbières, les diamètres aérodynamiques moyens et leur déviation standard géométrique de la poussière recueillie par impacteur aux postes situés dans la section de l'ensachage.

Tableau 24 : Granulométrie des poussières

Tourbière #	Diamètre aérodynamique médian de la masse (déviation géométrique standard) en µm
1	95,4 (6,8) ; 26,6 (3,9) ; 23,5 (4,1) ; 17,9 (2,4) ; 14,9 (2,3)
2	129,9 (4,8) ; 13,1 (2,6) ; 94,9 (3,9) ; 24,5 (2,2) ; 24,2 (2,8) ; 22,8 (2,6)
3	36,1 (4,0) ; 38,3 (3,0) ; 45,9 (3,7) ; 44,3 (3,0) ; 32,5 (3,4) ; 11,4 (4,6)
4	40,1 (4,1) ; 93,6 (5,1) ; 38,0 (4,1) ; 23,9 (2,5) ; 37,0 (2,4)
5	45,2 (3,8) ; 75,0 (4,5) ; 23,3 (3,2) ; 81,7 (12,3) ; 10,6 (2,6)
6	-
7	90,3 (4,7) ; 61,2 (3,1) ; 40,4 (3,4) ; 104,7 (4,5) ; 26,7 (2,1) ; 51,3 (2,5)
8	72,0 (7,0) ; 26,2 (2,7) ; 27,6 (4,9) ; 13,7 (2,2) ; 60,7 (5,0) ; 18,9 (2,4)
9	6,4 (2,3) ; 22,5 (5,5) ; 17,8 (4,7) ; 9,7 (2,2) ; 22,9 (3,3) ; 17,5 (2,9)
10	29,4 (2,5)
11	19,0 (2,4) ; 29,6 (2,4)
12	72,5 (4,2) ; 101,6 (4,2) ; 77,2 (4,7) ; 27,8 (2,5) ; 27,1 (2,4) ; 35,3 (2,6)
13-14	13,4 (3,4) ; 11,3 (3,3) ; 10,8 (3,3) ; 24,2 (2,7) ; 27,9 (2,6) ; 32,5 (2,8)

4.2.1.3 Contenu en quartz dans la poussière respirable

Le quartz a été recherché dans les matériaux de départ soit la tourbe. Pour tous les échantillons analysés, le quartz, lorsque décelé, l'était à l'état de trace. Il a tout de même été analysé dans la poussière respirable présente dans l'air des tourbières. Le tableau 25 présente la concentration de quartz respirable dans l'air pour chacune des tourbières.

Tableau 25 : Contenu en quartz des poussières

Tourbière #	Concentration de quartz ± écart-type (mg/m^3)
1	0,11 ± 0,03
2	0,19 ± 0,06
3	0,10 ± 0,06
4	< vmr[a]
5	< vmr[a]
6	-
7	< vmr[a]
8	0,04 ± 0,01
9	0,04 ± 0,01
10	< vmr[a]
11	0,06 ± 0,02
12	0,05 ± 0,01
13-14	0,09 ± 0,04

a vmr = valeur minimum rapportée à l'analyse = 6 ug. Pour les volumes d'échantillonnage utilisés, cela correspond à < 0,03 mg/m3.

4.2.2 Exposition des travailleurs

L'exposition des travailleurs a été évaluée par la mesure de la concentration de poussières inhalables dans leur zone respiratoire à l'aide des capteurs IOM. La valeur d'exposition moyenne pondérée sur 8 heures se détermine de la façon suivante (IRSST, 2000) :

$$\text{VEMP} = \frac{C_1T_1 + C_2T_2 + \ldots + C_nT_n}{T_1 + T_2 + \ldots + T_n}$$

VEMP : valeur d'exposition moyenne pondérée -8 heures en mg/m^3

C_n : concentration mesurée au poste de travail.

T_n : temps en minutes de la période échantillonnée.

1,2, ...n : indication de la période échantillonnée.

$T_1+t_2+\ldots T_n = 480$ minutes (ou 8 heures)

et où l'on suppose que la période d'échantillonnage est représentative de la journée complète de travail.

Le tableau 26 rapporte pour chaque tourbière, la valeur d'exposition moyenne obtenue la journée de l'échantillonnage.

Tableau 26 : Exposition des travailleurs à la poussière inhalable et totale (après correction)

TOURBIÈRE #	POSTE	POUSSIÈRE INHALABLE Concentration moyenne en mg/m3 (Nombre de mesures) (remarque)	POUSSIÈRE TOTALE* Concentration moyenne en mg/m3
1	*Ensacheur # 1*	291,0 (n=2)	191,4
	Ensacheur # 2	31,8 (n=1) (mesure à extérieur du système filtrant motorisé)	20,9
2	*Ensacheur # 1*	1,2 (n=2) (mesure à l'intérieur de la cagoule)	0,8
	Ensacheur # 2	5,8 (n=2) (mesure à l'intérieur de la cagoule)	3,8
3	*Ensacheur # 1*	369,2 (n=4)	242,9
	Ensacheur # 2	318,6 (n=4)	209,6
	Balayeur	564,3 (n=4)	371,2
4	*Ensacheur # 1*	111,9 (n=3)	73,6
5	*Ensacheur # 1*	23,7 (n=3)	15,6
6	*Ensacheur # 1*	531,6 (n=1)	349,7
	Ensacheur # 2	371,7 (n=2)	244,5
	Aide - ensacheur # 1	333,2 (n=1)	219,2
	Balayeur	443,6 (n=2)	291,8
7	*Ensacheur # 1*	707,4 (n=2)	465,4
	Ensacheur # 2	662,5 (n=2)	435,8
	Aide - ensacheur # 1	482,4 (n=2)	317,3
	Aide - ensacheur # 2	128,0 (n=2)	84,2
	Conducteur	116,3 (n=2)	76,5
8	*Ensacheur # 1*	7,6 (n=1)	5,0
	Ensacheur # 2	23,8 (n=2)	15,6
	Ensacheur # 3	121,5 (n=2)	80,0
	Manœuvre	51,0 (n=2)	33,5
9	*Ensacheur # 1*	9,9 (n=2) (mélange)	6,5

	Ensacheur # 2	6,8 (n=2) (mélange)	4,5
	Ensacheur # 3	0,5 (n=2) (terre à jardin)	0,3
10	*Ensacheur # 1*	213,0 (n=1)	140,1
	Ensacheur # 2	164,3 (n=2)	108,1
	Cariste	79,3 (n=2)	52,2
	Camionneur	153,6 (n=1)	101,0
11	*Ensacheur # 1*	444,2 (n=3)	292,2
	Ensacheur # 2	178,8 (n=3)	117,6
12	*Ensacheur # 1*	51,8 (n=3)	34,1
	Ensacheur # 2	44,2 (n=2)	29,0
13-14	*Ensacheur # 1*	6,8 (n=2)	4,5
	Ensacheur # 2	10,4 (n=2)	6,8
	Ensacheur # 3	51,9 (n=3)	34,1
	Mélangeur	9,2 (n=2)	6,1

** après correction de 1,52 selon la corrélation de la figure 27*

Il n'existe pas de valeur limite d'exposition à la poussière inhalable. Pour la poussière de tourbe, la norme actuelle applicable est celle sur la poussière totale qui est de 10 mg/m^3. La concentration en poussière inhalable est en général plus importante que la poussière dite totale parce qu'elle recueille une fraction plus importante des particules de grandes dimensions. Une étude de corrélation entre la poussière inhalable et la poussière totale a été faite pour l'ensemble des données de toutes les tourbières et est présentée à la figure 27. Si on applique cette corrélation de 1,52 aux résultats de poussière inhalable mesurée en zone respiratoire des travailleurs, on obtient les valeurs d'exposition à la poussière totale présentées au tableau 26.

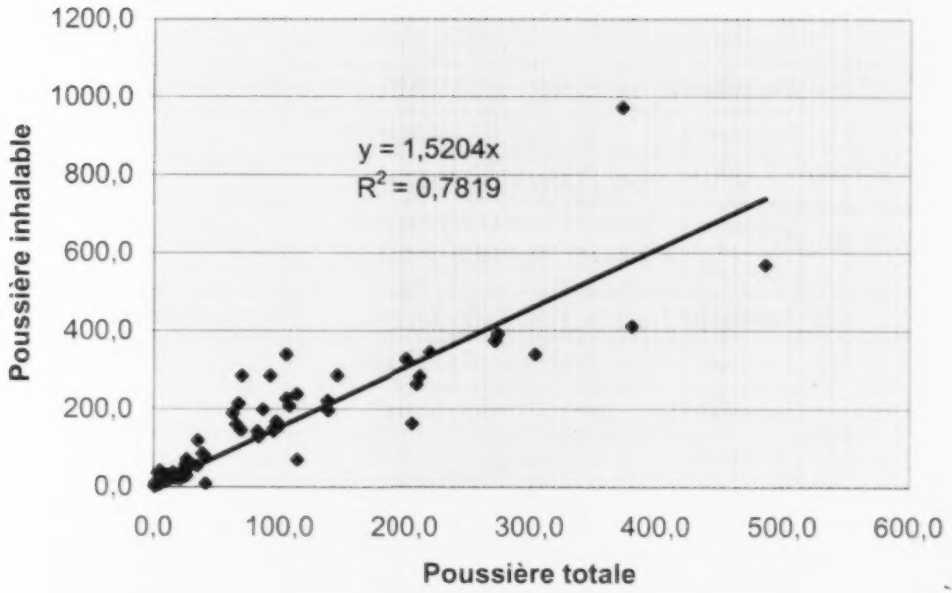


Figure 27: Corrélation entre les concentrations de poussière inhalable et totale

4.2.3 Ventilation

Les résultats sont présentés et discutés à la section discussion.

4.3 Discussion

4.3.1 Empoussièrement du milieu de travail

Les résultats présentés au tableau 23 montrent bien que les tourbières sont, de façon générale, des milieux de travail très empoussiérés. Les concentrations mesurées dans la plupart des tourbières étaient très élevées causant avec le temps une sédimentation importante sur le plancher. Ces dépôts de poussières ont été observés régulièrement et constituent des conditions propices à la création de situations dangereuses, explosives et propres à la propagation d'un incendie. Bien que cet aspect de sécurité ne faisait pas l'objet de l'étude, il nous apparaît essentiel de le mentionner.

Les concentrations moyennes de poussière inhalable pour l'ensemble des postes ont varié de 2,7 à 431,6 mg/m^3. Pour une seule tourbière, où il y avait ensachage de mélange, la concentration était inférieure à 10 mg/m^3 ; pour trois d'entre elles, elle se situait entre 10 et 30 mg/m^3 ; pour trois autres, entre 50 et 100 mg/m^3 et pour les six autres, les concentrations étaient supérieures à 100 mg/m^3. Les différences observées pour une même tourbière (écart-type) s'expliquent par l'emplacement des postes de mesure; ainsi

les concentrations les plus élevées étaient mesurées près des sources d'émission où la sédimentation des particules de grand diamètre est plus rapide.

La poussière de tourbe est habituellement considérée comme poussière de nuisance. La poussière de nuisance doit être évaluée par la méthode de poussière totale avec une valeur maximale permise de 10 mg/m^3 pour l'exposition des travailleurs (Gouvernement du Québec, 2001). En air ambiant, les concentrations en poussière totale étaient inférieures à 10 mg/m^3 seulement pour deux tourbières; trois avaient des concentrations entre 10 et 20 mg/m^3 alors que pour toutes les autres, les concentrations étaient supérieures à 50 mg/m^3.

Les concentrations de poussières respirables ont varié de 0,3 à 18,7 mg/m^3. Pour 9 tourbières, la concentration en poussière respirable dans l'air était inférieure à 5 mg/m^3.

Les résultats de l'étude granulométrique présentés au tableau 24 montrent que le diamètre aérodynamique médian de la masse de la poussière présente dans les tourbières est supérieur à 10 µm (limite supérieure de la poussière respirable) et dans beaucoup de cas supérieur à 40 µm (zone de performance réduite du capteur de poussière de nuisance). L'utilisation de capteurs de poussière inhalable était donc justifiée.

Le tableau 25 donne la concentration de quartz présent sous forme respirable dans l'air des tourbières. Le quartz était présent dans l'air de 8 tourbières. Même si la proportion de quartz dans le matériau de départ est inférieure à 1 % (ce qui définit une poussière de nuisance), les résultats montrent la nécessité de vérifier la concentration de quartz dans l'air de ces milieux de travail.

4.3.2 Exposition des travailleurs

4.3.2.1 Exposition à la poussière

Les valeurs d'exposition moyenne des travailleurs à la poussière inhalable ont varié de 1,2 (mesuré à l'intérieur d'une cagoule) à 707 mg/m^3. Il faut noter que plusieurs travailleurs portaient des masques à poussières d'où une exposition moindre que celle mesurée dans leur zone respiratoire. Il n'y a pas au Québec de norme d'exposition à la poussière inhalable. Pour la poussière de tourbe, la norme actuelle applicable est celle sur la poussière totale qui est de 10 mg/m^3. L'étude de corrélation faite entre les concentrations de poussière inhalable et de poussière totale a permis d'estimer l'exposition des travailleurs à cette dernière. Ainsi, pour 28 des 37 travailleurs évalués, la valeur d'exposition à la poussière totale excèderait la limite permise. Cette importante exposition est d'ailleurs confirmée par les concentrations de poussières inhalable et totale mesurées dans l'air ambiant.

Ces résultats démontrent d'une part que les systèmes de captation à la source installés sur les ensacheuses ont une efficacité variable à aspirer la poussière de tourbe et d'autre part, que des quantités importantes de poussière se retrouvent en zone respiratoire des travailleurs. Ceux-ci doivent donc être protégés adéquatement. L'utilisation de cagoule est une protection efficace comme le montrent les résultats obtenus à la tourbière # 2. La tourbière # 9 présentait également des faibles concentrations, comparables à celles de la tourbière # 2, sans utilisation de cagoules par les travailleurs. Dans le cas de cette tourbière, les matériaux ensachés contenaient des proportions variables de terre à jardin.

La nature des matériaux ensachés est donc un des facteurs qui peuvent affecter le niveau d'empoussièrement.

4.3.2.2 Exposition au quartz

Du quartz a été décelé dans l'air ambiant de la zone d'ensachage de huit tourbières. Pour quatre d'entre elles, les concentrations de quartz mesurées étaient près ou supérieures à la valeur de 0,1 mg/m^3 spécifiée comme valeur d'exposition moyenne pondérée sur 8 heures pour les travailleurs (Gouvernement du Québec, 2001). Pour les quatre autres, la valeur atteignait la moitié de cette valeur limite. Cependant, pour tous les échantillons analysés, le quartz était soit non décelé soit à l'état de trace. Donc face à ce contaminant, il faut être vigilant à sa présence dans l'air même si la proportion de départ est négligeable puisque les taux d'empoussièrement très élevés peuvent conduire à des concentrations non négligeables de quartz dans l'air.

4.3.3 Ventilation

Les résultats de l'évaluation des paramètres aérauliques sont présentés et discutés pour chacune des 6 tourbières étudiées.

4.3.3.1.Tourbière 1

- *Description*

L'établissement dispose de 3 postes mécanisés d'ensachage de mousse de sphaigne (photo 1 annexe 2). Chaque presse ensacheuse est constituée de 3 enceintes verticales rectangulaires de pressage d'une hauteur approximative de 7 pieds. Les enceintes sont positionnées symétriquement sur une base circulaire pivotante. Le chargement de la tourbe se fait par le haut. La partie inférieure des enceintes comprend une porte permettant d'insérer les sacs vides et de retirer les sacs pleins. Le cycle d'ensachage comprend 4 étapes soit, 1- l'ouverture de la porte, l'installation du sac, la fermeture de la porte et la rotation de la base 2- le remplissage du sac et la rotation de la base, 3- le compactage de la mousse et la rotation de la base, et 4- l'ouverture de la porte, la mise en place d'une plaquette de bois, la fermeture et le brochage du sac et la sortie du sac. Les étapes 1 et 4 sont effectuées par l'opérateur de la presse.

Le système de dépoussiérage, schématisé à la figure 28 « Tourbière 1 », est constitué de capteurs raccordés à l'aide de canalisations flexibles à une conduite d'évacuation principale, d'un ventilateur d'évacuation de type centrifuge et d'un système de dépoussiérage cyclonique. Des capteurs sont installés à chacune des presses et sont généralement placés au plus près des points d'émission. Un dispositif automatisé permet le déplacement des capteurs situés dans la trajectoire de rotation des enceintes rectangulaires. On trouve également à différents endroits dans les salles d'ensachage et d'alimentation du convoyeur des capteurs au niveau du sol.

Il n'existe aucun système mécanique de compensation d'air, le remplacement de l'air évacué se fait par appel d'air à travers les ouvertures du bâtiment (portes, fenêtres).

- *Relevés*

Les pressions statiques et les vitesses d'air mesurées ainsi que les débits calculés ou estimés sont indiqués au tableau de la figure 28 « Tourbière 1 ». On observe que la pression statique (points A, C et D) dans la conduite principale d'évacuation demeure relativement constante sur toute sa longueur. Comme le diamètre de la canalisation est constant, il est possible de conclure que cette canalisation agit vraisemblablement comme un plénum qui favorise une répartition relativement égale de la pression statique à chacun des points de raccordement. En présumant que les longueurs des canalisations flexibles sont relativement égales et que le nombre de capteurs est approximativement le même pour les 3 postes, engendrant ainsi une perte de charge aéraulique équivalente à chaque poste d'ensachage, il est possible de présumer que le débit d'évacuation est du même ordre de grandeur à chaque poste.

Sur cette base, nous avons estimé que la vitesse de transport à l'intérieur des canalisations flexibles devait se situer à environ 10 000 pi.min^{-1} (± 25%), soit une vitesse largement suffisante pour prévenir la sédimentation des poussières à l'intérieur de celles-ci. Le débit de captage estimé est de l'ordre de 515 pi^{3}. min^{-1} par capteur. En ce qui a trait à la canalisation principale, les relevés indiquent que la vitesse moyenne est inférieure à 3 000 pi.min^{-1}, soit une vitesse plus basse que celle suggérée de 3 800 pi.min^{-1} (ACGIH, 1998).

- *Observations et commentaires*

De façon générale, les capteurs mobiles placés au niveau de la partie supérieure du sac (photo 2 annexe 2) sont relativement efficaces si l'on en juge par les faibles émissions observées et l'empoussièrement général des surfaces dans le voisinage du poste. Les fuites les plus importantes se produisent sur la partie supérieure des unités de pressage notamment lors du remplissage du sac et lors du compactage de la tourbe. Dans le premier cas, les fuites sont situées à la jonction de la partie supérieure de l'unité de pressage et de l'enceinte de chargement (photo 3 annexe 2) et s'expliquent vraisemblablement par la détérioration ou le mauvais ajustement de la garniture d'étanchéité. En ce qui a trait aux émissions produites lors du compactage, elles proviennent de la migration de la tourbe dans l'espace interstitiel entre la paroi et la plaque de pressage lors de la descente du piston. Lors de la remontée du piston, les fibres sont libérées vers l'extérieur de l'unité et dispersées dans l'environnement. L'efficacité du capteur (extrémité de la canalisation flexible, photo 4 annexe 2) situé à proximité est très limitée en raison de sa forme géométrique qui offre un faible potentiel d'aspiration aux particules en mouvement qui sont situées à une distance supérieure au diamètre du conduit.

Bien que le système de ventilation et le balayage périodique des planchers tendent à limiter l'accumulation des poussière de tourbe provenant des diverses sources, on observe sur certaines surfaces une accumulation substantielle de poussière, notamment dans la salle abritant le convoyeur où un dépôt important de tourbe est présent sur la face supérieure de la canalisation principale d'évacuation. Comme les poussières de tourbe sont combustibles, nous recommandons que les installations et les pratiques de travail soient revues afin d'en établir la conformité en rapport avec la norme NFPA 654 (NFPA, 2000). De plus, nous avons constaté que l'air comprimé est utilisé régulièrement à des fins de nettoyage. Il s'agit d'une pratique qui 1- favorise la remise en suspension des poussières déposées et la génération d'un nuage de poussières et, 2- constitue une source potentielle d'électricité statique. Par ailleurs, le ventilateur étant situé avant le système de

dépoussiérage (relativement au sens de l'écoulement de l'air) ceci implique que ses composantes entrent en contact avec des particules combustibles. Cette situation nécessite l'application d'une série de mesures de sécurité notamment en ce qui a trait à la construction et l'entretien du ventilateur ainsi que l'installation de systèmes ou de dispositifs de sécurité limitant, empêchant ou contrôlant la propagation d'un incendie ou d'une déflagration.

Il est à noter que préalablement à notre intervention il n'existait aucun orifice permettant la prise de mesures. Nous suggérons que des vérifications périodiques soient effectuées pour s'assurer du maintien des débits d'air et qu'il n'y ait pas de sédimentation importante à l'intérieur des canalisations. Comme la présence des conduits flexibles empêche la mesure précise de vitesses, nous suggérons d'évaluer la possibilité d'installer des manomètres mesurant la pression statique en aval des capteurs, préférablement au collet de ceux-ci, afin de s'assurer que les débits d'air demeurent à un niveau acceptable.

4.3.3.2 Tourbière 3

- *Description*

L'établissement dispose de 2 postes mécanisés d'ensachage de mousse de sphaigne (photo 5 annexe 2). Chaque presse ensacheuse est constituée de 3 enceintes verticales rectangulaires de pressage d'une hauteur approximative de 7 pieds. Les enceintes sont positionnées symétriquement sur une base circulaire pivotante. Le chargement de la tourbe se fait par le haut. La partie inférieure des enceintes comprend une porte permettant d'insérer les sacs vides et de retirer les sacs pleins. Le cycle d'ensachage comprend 4 étapes soit, 1- l'ouverture de la porte, l'installation du sac, la fermeture de la porte et la rotation de la base 2- le remplissage du sac et la rotation de la base, 3- le compactage de la mousse et la rotation de la base, et 4- l'ouverture de la porte, la mise en place d'une plaquette de bois, la fermeture et le brochage du sac et la sortie du sac. Les étapes 1 et 4 sont effectuées par l'opérateur de la presse.

Le système de dépoussiérage, schématisé à la figure 29a « Tourbière 3 », est constitué de capteurs raccordés à l'aide de canalisations à une conduite d'évacuation principale, d'un ventilateur d'évacuation de type centrifuge et d'un système de dépoussiérage cyclonique. Des capteurs fixes sont installés à chacune des presses. On trouve également à différents endroits dans la salle mécanique abritant le ventilateur et la partie inférieure du système de dépoussiérage des capteurs localisés à proximité de sources d'émission diverses.

Il n'existe aucun système mécanique de compensation d'air, le remplacement de l'air évacué se fait par appel d'air à travers les ouvertures du bâtiments (portes, fenêtres, etc.)

- *Relevés*

Les pressions statiques et les vitesses d'air mesurées ainsi que les débits calculés ou estimés sont indiqués au tableau de la figure 29b « Tourbière 3 ». La majorité des mesures aérauliques ont été réalisées parallèlement à l'échantillonnage des contaminants. Toutefois, les mesures complémentaires effectuées lors d'une visite subséquente indiquent une augmentation de la pression statique à certains points de lecture sur la canalisation principale d'évacuation. À notre avis, cette augmentation s'explique principalement par l'obturation d'un orifice d'environ 3 pouces de diamètre (point G, sur relevés) sur la canalisation principale. Nous estimons que le débit d'évacuation total en

amont du point de colmatage a pu augmenter d'environ 10% subséquemment à cette intervention.

Les relevés effectués lors de la première visite indiquent que la majorité des vitesses à l'intérieur des canalisations était inférieure à la vitesse de transport recommandée de 3 800 pi.min^{-1}. On observe que le débit total d'évacuation de la presse no 2 était de 26% supérieur à celui de la presse no 1. Les débits d'aspiration aux capteurs de la presse no 2 variaient entre 479 pi^3.min^{-1} et 623 pi^3. min^{-1}.

- *Observations et commentaires*

Nous avons noté des quantités importantes de poussières de tourbe déposées sur l'ensemble des surfaces (murs et planchers) de l'établissement. L'accumulation de poussières atteignait 4 pouces à certains endroits de la salle mécanique abritant le ventilateur et la partie inférieure du système de dépoussiérage. Nous avons de plus observé que lors des étapes de remplissage et de compactage, les capteurs placés au niveau de la partie supérieure des sacs ne parvenaient pas à contrôler adéquatement les émissions (photos 6 et 7 annexe 2). De façon générale, le nombre de capteurs est insuffisant et la distance entre les capteurs et les points d'émission est trop grande, ce qui en réduit leur efficacité. À titre d'exemple pour un des capteurs, la distance entre celui-ci et l'enceinte rectangulaire était de 7 pouces. En l'absence d'écran flexible permettant d'intercepter les émissions fugitives, lesquelles sont généralement animées d'une vélocité importante, il est nécessaire de mettre en œuvre des vitesses de captage élevées. Or, pour obtenir une vitesse de captage de l'ordre de 400 pi.min^{-1} soit la vitesse recommandée par l'INRS (INRS, 1996) pour le contrôle des contaminants lors de l'ensachage de sable pulvérisé, on devrait, dans le cas d'une fente d'aspiration sans collerette, générer un débit d'aspiration de l'ordre de 705 pi^3.min^{-1}. Tous les débits mesurés ou estimés pour les capteurs de la presse d'ensachage no 2 étaient inférieurs à cette valeur. Des émissions importantes de poussières ont également été observées sur la partie supérieure des enceintes lors du remplissage et du compactage et s'expliquent par l'inefficacité des capteurs ou par la détérioration des garnitures d'étanchéité.

Dans la salle mécanique, la visibilité était de l'ordre de 3 à 5 pieds lors de la première visite. Lors de la seconde visite, la visibilité était normale.

Comme les poussières de tourbe sont combustibles, nous recommandons que les installations et les pratiques de travail soient revues afin d'en établir la conformité avec la norme NFPA 654 (NFPA, 2000). De plus, le ventilateur étant situé en amont du système de dépoussiérage (relativement au sens de l'écoulement de l'air) ceci implique que ses composantes entrent en contact avec des particules combustibles. Cette situation nécessite l'application d'une série de mesures de sécurité relatives à la construction et l'entretien du ventilateur ainsi que l'installation de systèmes ou de dispositifs de sécurité limitant, empêchant ou contrôlant la propagation d'un incendie ou d'une déflagration.

À notre avis, des modifications importantes sont requises au système de ventilation pour en améliorer la performance et la conformité aux règles de l'art. Il est à noter que préalablement à notre intervention, il n'existait aucun orifice permettant la prise de mesures. Il est important que des vérifications périodiques soient effectuées pour s'assurer du maintien des débits d'air et qu'il n'y ait pas de sédimentation importante à l'intérieur des canalisations. Comme la présence des conduits flexibles empêche la

mesure précise de vitesses, nous suggérons d'évaluer la possibilité d'installer des manomètres mesurant la pression statique en aval des capteurs, préférablement au collet de ceux-ci, afin de s'assurer que les débits d'air demeurent à un niveau acceptable.

4.3.3.3 Tourbière 4

- *Description*

L'établissement dispose d'un poste mécanisé d'ensachage de mousse de sphaigne (photo 8 annexe 2). La presse ensacheuse est constituée de 3 enceintes verticales rectangulaires de pressage d'une hauteur approximative de 7 pieds. Les enceintes sont positionnées symétriquement sur une base circulaire pivotante. Le chargement de la tourbe se fait par le haut. La partie inférieure des enceintes comprend une porte permettant d'insérer les sacs vides et de retirer les sacs pleins. Le cycle d'ensachage comprend 4 étapes soit, 1- l'ouverture de la porte, l'installation du sac, la fermeture de la porte et la rotation de la base 2- le remplissage du sac et la rotation de la base, 3- le compactage de la mousse et la rotation de la base, et 4- l'ouverture de la porte, la mise en place d'une plaquette de bois, la fermeture et le brochage du sac et la sortie du sac. Les étapes 1 et 4 sont effectuées par l'opérateur de la presse.

Le système de dépoussiérage, schématisé à la figure 30 « Tourbière 4 », est constitué de capteurs raccordés à l'aide de canalisations flexibles à une conduite d'évacuation principale, d'un ventilateur d'évacuation et d'un système de dépoussiérage. Le ventilateur et le système de dépoussiérage sont situés à l'extérieur de l'établissement et proviennent d'un aspirateur de tourbe (photo 9 annexe 2). La rotation du ventilateur se fait par un raccordement à la prise de force d'un tracteur. Des capteurs fixes sont installés à chacune des presses.

Il n'existe aucun système mécanique de compensation d'air, le remplacement de l'air évacué se fait par appel d'air à travers les ouvertures du bâtiment (portes, fenêtres).

- *Relevés*

Les pressions statiques et les vitesses d'air mesurées ainsi que les débits calculés ou estimés sont indiqués au tableau de la figure 30 « Tourbière 4 ». Entre les points A et B on observe une perte de débit importante de l'ordre de 35%, attribuable à la présence des nombreux trous sur la conduite d'évacuation. La majorité des vitesses mesurées à l'intérieur des canalisations étaient inférieures à la vitesse de transport recommandée de 3 800 pi.min^{-1}. Les débits de captage estimés variaient de 230 pi^3.min^{-1} à 431 pi^3.min^{-1}.

- *Observations et commentaires*

Nous avons noté des quantités importantes de poussières de tourbe déposée sur l'ensemble des surfaces (murs et planchers) de l'établissement. Nous avons de plus observé que lors des étapes de remplissage et de compactage, les capteurs ne parviennent pas à contrôler adéquatement les émissions, notamment au périmètre de l'ouverture des sacs (photos 8 et 10 annexe 2). La quantité de capteurs est insuffisante et plusieurs points d'émission sont situés en dehors de la zone d'influence des capteurs. Dans certains cas, la distance entre le capteur et l'enceinte est trop grande ce qui réduit l'efficacité de captage. À titre d'exemple pour un des capteurs, la distance entre celui-ci et l'enceinte rectangulaire était approximativement de 5 pouces. Or, pour obtenir une vitesse de captage de l'ordre de 400 pi.min^{-1}, soit la vitesse recommandée par l'INRS pour le

contrôle des contaminants lors de l'ensachage de sable pulvérisé (INRS, 1996), on devrait, dans le cas d'une fente d'aspiration sans collerette, générer un débit d'aspiration de l'ordre de 500 $pi^3.min^{-1}$. Tous les débits mesurés ou estimés pour les capteurs de la presse d'ensachage no 2 étaient inférieurs à cette valeur. Des fuites ont également été observées sur la partie supérieure des enceintes lors du compactage et du remplissage et s'expliquent par l'absence de capteur ou la détérioration des garnitures d'étanchéité.

Comme les poussières de tourbe sont combustibles, nous recommandons que les installations et les pratiques de travail soient revues afin d'en établir la conformité avec la norme NFPA 654 (NFPA, 2000). Certaines des canalisations flexibles sont en plastique soit un matériau combustible qui de plus favorise la formation et l'accumulation d'électricité statique sur sa surface.

À notre avis, des modifications importantes sont requises au système de ventilation pour en améliorer la performance et en assurer la conformité aux règles de l'art. Il est à noter que préalablement à notre intervention, il n'existait aucun orifice permettant la prise de mesures. Il est important que des vérifications périodiques soient effectuées pour s'assurer du maintien des débits d'air et qu'il n'y ait pas de sédimentation importante à l'intérieur des canalisations. Comme la présence de conduits flexibles empêche la mesure précise de vitesses, nous suggérons d'évaluer la possibilité d'installer des manomètres mesurant la pression statique en aval des capteurs, préférablement au collet de ceux-ci, afin de s'assurer que les débits d'air demeurent à un niveau acceptable.

4.3.3.4 Tourbière 5

- *Description*

L'établissement dispose de 3 postes mécanisés d'ensachage de mousse de sphaigne. Une ensacheuse était en opération lors de l'intervention soit celle utilisée pour les ballots (photo 11 annexe 2).

Le système de dépoussiérage, schématisé à la figure 31a « Tourbière 5 », est constitué de capteurs raccordés à une conduite d'évacuation principale, d'un ventilateur d'évacuation et d'un système de dépoussiérage à manches filtrantes. Des capteurs sont installés à chacune des presses et aux tamis et sont généralement placés au plus près des points d'émission. Dans le cas des 2 petites ensacheuses (photo 12 annexe 2), un dispositif automatisé permet le déplacement des capteurs situés dans la trajectoire de rotation des enceintes rectangulaires. Une fois épuré l'air est recirculé dans l'usine. Aucun système de ventilation d'apport d'air neuf n'est installé.

- *Relevés*

Les pressions statiques et les vitesses d'air mesurées ainsi que les débits calculés sont indiqués au tableau de la figure 31b « Tourbière 5 ». Les données indiquent que pour la presse en utilisation les vitesses de transports sont largement inférieures à la vitesse recommandée de 3 800 $pi.min^{-1}$. Une accumulation importante de poussières a été observée au niveau du registre d'équilibrage. En ce qui a trait aux autres presses les vitesses de transport mesurées étaient majoritairement supérieures à 3 800 $pi.min^{-1}$.

- *Observation et commentaires*

De façon générale, le niveau d'empoussièrement dans l'usine est bas et le dispositif de ventilation de la presse en utilisation semble relativement efficace. Des fuites ont toutefois été observées à proximité du point de transfert entre le convoyeur et la chute de chargement de l'ensacheuse en opération.

Nous avons constaté que l'air comprimé est utilisé régulièrement à des fins de nettoyage lors la fermeture des sacs. Il s'agit d'une pratique qui 1- favorise la remise en suspension des poussières déposées et la génération d'un nuage de poussières et, 2- constitue une source potentielle d'électricité statique. Comme les poussières de tourbe sont combustibles, nous recommandons que les installations et les pratiques de travail soient revues afin d'en établir la conformité en rapport avec la norme NFPA 654 (NFPA, 2000).

Il est à noter que préalablement à notre intervention, il n'existait aucun orifice permettant la prise de mesures. Il est important que des vérifications périodiques soient effectuées pour s'assurer du maintien des débits d'air et qu'il n'y ait pas de sédimentation importante à l'intérieur des canalisations. De plus, comme le ventilateur est situé en amont du système de dépoussiérage (relativement au sens de l'écoulement de l'air) ceci implique que ses composantes entrent en contact avec des particules combustibles. Cette situation nécessite l'application d'une série de mesures de sécurité notamment en ce qui a trait à la construction et l'entretien du ventilateur ainsi que l'installation de systèmes ou de dispositifs de sécurité limitant, empêchant ou contrôlant la propagation d'un incendie ou d'une déflagration.

4.3.3.5 Tourbière 7

- *Description*

L'établissement dispose de 3 postes mécanisés d'ensachage de mousse de sphaigne. Chaque presse ensacheuse est constituée de 3 enceintes verticales rectangulaires de pressage d'une hauteur approximative de 7 pieds (photo 13 annexe 2). Les enceintes sont positionnées symétriquement sur une base circulaire pivotante. Le chargement de la tourbe se fait par le haut. La partie inférieure des enceintes comprend une porte permettant d'insérer les sacs vides et de retirer les sacs pleins. Le cycle d'ensachage comprend 4 étapes soit, 1- l'ouverture de la porte, l'installation du sac, la fermeture de la porte et la rotation de la base 2- le remplissage du sac et la rotation de la base, 3- le compactage de la mousse et la rotation de la base, et 4- l'ouverture de la porte, la mise en place d'une plaquette de bois, la fermeture et le brochage du sac et la sortie du sac. Les étapes 1 et 4 sont effectuées par l'opérateur de la presse.

Le système de dépoussiérage, schématisé à la figure 32a « Tourbière 7 », est constitué de capteurs raccordés à l'aide de canalisations à une conduite d'évacuation principale, d'un ventilateur d'évacuation et d'un système de dépoussiérage. Le ventilateur et le système de dépoussiérage sont situés à l'extérieur de l'établissement. Des capteurs fixes sont installés à chacune des presses et des déflecteurs sont utilisés à divers endroits pour améliorer l'efficacité de captage.

Il n'existe aucun système mécanique de compensation d'air, le remplacement de l'air évacué se fait par appel d'air à travers les ouvertures du bâtiment (portes, fenêtres).

- *Relevés*

Les pressions statiques et les vitesses d'air mesurées ainsi que les débits calculés ou estimés sont indiqués au tableau de la figure 32b « Tourbière 7 ». Les relevés effectués indiquent que la majorité des vitesses à l'intérieur des canalisations étaient supérieures à la vitesse de transport recommandée de 3 800 pi.min^{-1} permettant de générer des débits de captage variant de 575 à 1 045 pi^3.min^{-1}. À un endroit, la vitesse était de l'ordre de 1 500 pi.min^{-1}et le débit de captage de 132 pi^3.min^{-1}.

- *Observations et commentaires*

Nous avons noté des quantités variables de poussières de tourbe déposées sur l'ensemble des surfaces (murs et planchers) de l'établissement. Nous avons de plus observé que pour les 2 presses en opération lors de l'étude, les capteurs ne parviennent pas à contrôler adéquatement les émissions lors des étapes de remplissage et de compactage, notamment au périmètre de l'ouverture des sacs (photo 14 annexe 2). La quantité de capteurs est insuffisante et plusieurs points d'émission sont situés en dehors de la zone d'influence des capteurs (photo 15 annexe 2). La distance entre le capteur et la source d'émission est généralement trop grande ce qui réduit l'efficacité captage. À titre d'exemple, dans plusieurs cas, la distance entre le capteur et la source d'émission était supérieure à 6 pouces. Or pour ce type de capteur (ouverture d'un tuyau de 4 pouces de diamètre), ayant un débit de captage mesuré de 600 pi^3.min^{-1}, la vitesse de capture à une distance de 6 pouces est estimée à environ 250 pi.min^{-1}. Il s'agit d'une vitesse de captage largement inférieure à la vitesse de 400 pi.min^{-1} recommandée par l'INRS pour le contrôle des contaminants lors de l'ensachage de sable pulvérisé (INRS, 1996). Des fuites ont également été observées sur la partie supérieure des enceintes lors du compactage et du remplissage et s'expliquent par l'absence de capteur ou la détérioration des garnitures d'étanchéité.

Comme les poussières de tourbe sont combustibles, nous recommandons que les installations et les pratiques de travail soient revues afin d'en établir la conformité avec la norme NFPA 654 (NFPA, 2000). Le raccordement des capteurs avec la conduite principale d'évacuation est réalisée par des canalisations de plastique. Il s'agit d'un matériau combustible qui de plus favorise la formation et l'accumulation d'électricité statique sur sa surface. De plus, comme le ventilateur est situé en amont du système de dépoussiérage (relativement au sens de l'écoulement de l'air) ceci implique que ses composantes entrent en contact avec des particules combustibles. Cette situation nécessite l'application d'une série de mesures de sécurité notamment en ce qui a trait à la construction et l'entretien du ventilateur ainsi que l'installation de systèmes ou de dispositifs de sécurité limitant, empêchant ou contrôlant la propagation d'un incendie ou d'une déflagration.

À notre avis, des modifications importantes sont requises au système de ventilation pour en améliorer la performance et en assurer la conformité aux règles de l'art. Il est à noter que préalablement à notre intervention, il n'existait aucun orifice permettant la prise de mesures. Il est important que des vérifications périodiques soient effectuées pour s'assurer du maintien des débits d'air et éviter qu'il y ait des dépôts importants à l'intérieur des canalisations. Nous suggérons d'évaluer la possibilité d'installer des manomètres mesurant la pression statique en aval des capteurs, préférablement au collet de ceux-ci, afin de s'assurer que les débits d'air demeurent à un niveau acceptable.

4.3.3.6 Tourbière 8

- *Description*

L'établissement dispose de 2 postes mécanisés d'ensachage automatisé (photo 16 annexe 2) et d'un poste mécanisé (avec opérateur) d'ensachage de mousse de sphaigne. À l'extérieur de la salle d'ensachage, on trouve des postes d'ensachage en ballots. Dans la salle d'ensachage, seuls les postes automatisés étaient en opération lors de l'étude. Chaque presse ensacheuse automatisée est constituée de 4 enceintes verticales rectangulaires de pressage d'une hauteur approximative de 7 pieds. Les enceintes sont positionnées symétriquement sur une base circulaire pivotante. Le chargement de la tourbe se fait par le haut. La partie inférieure des enceintes comprend une porte permettant d'insérer les sacs vides et de retirer les sacs pleins. Le cycle d'ensachage comprend 4 étapes soit, 1- l'ouverture de la porte, l'enfilage du sac à l'aide d'une enfileuse automatique, la fermeture de la porte et la rotation de la base 2- le remplissage du sac et la rotation de la base, 3- le compactage de la mousse et la rotation de la base, et 4- le scellage du sac à l'aide d'un fil chauffant et le transfert du sac sur un convoyeur. Le travail de l'opérateur consiste à vérifier le fonctionnement des ensacheuses et de nettoyer les surfaces (planchers, équipements) pour prévenir une accumulation de tourbe sur celles-ci.

Le système de dépoussiérage, schématisé à la figure 33a « Tourbière 8 », est constitué de capteurs raccordés à l'aide de canalisations à une conduite d'évacuation principale, d'un ventilateur d'évacuation et d'un système de dépoussiérage cyclonique. Le système de dépoussiérage est situé à l'extérieur de l'établissement. Une fois épuré, l'air est recirculé dans l'usine. Des capteurs mobiles sont installés à chacune des presses automatisées. Les débits d'air des capteurs localisés aux stations de compactage et de remplissage sont à débits variables. Il n'existe aucun système mécanique d'apport d'air neuf.

- *Relevés*

Les pressions statiques et les vitesses d'air mesurées ainsi que les débits calculés ou estimés sont indiqués au tableau au tableau de la figure 33b « Tourbière 8 ». Les relevés effectués indiquent que la majorité des vitesses à l'intérieur des canalisations étaient inférieures à la vitesse de transport recommandée de 3 800 pi.min^{-1}. Les débits d'aspiration des capteurs des 2 presses varient entre 230 et 490 pi^3.min^{-1}.

- *Observations et commentaires*

De façon générale, le niveau d'empoussièrement dans l'usine est bas. Des accumulations significatives ont été observées dans une salle mécanique (photo 17 annexe 2). Aux postes d'ensachage la ventilation semble relativement efficace mais des émissions ont toutefois été observées au périmètre de l'ouverture des sacs lors des étapes de remplissage et de compactage (photo 18 annexe 2). La présence d'un déflecteur (garniture flexible permettant de boucher l'espace entre le capteur et l'enceinte rectangulaire) sur la partie supérieure des capteurs mobiles est recommandée pour intercepter les émissions qui semblent animées d'une vitesse de projection supérieure à la vitesse de captage générée par les capteurs. À cet égard, il serait opportun de procéder à

des essais permettant d'augmenter les débits d'aspiration à un niveau suffisamment élevé pour imprimer un écoulement d'air capable d'entraîner les émissions vers le capteur.

Par ailleurs, nous avons constaté que l'air comprimé est utilisé à des fins de nettoyage. Il s'agit d'une pratique qui favorise la remise en suspension des poussières déposées et la génération d'un nuage de poussières et constitue une source potentielle d'électricité statique. Nous avons noté la présence de canalisations en plastique. Il s'agit d'un matériau combustible qui de plus favorise la formation et l'accumulation d'électricité statique sur sa surface. Comme les poussières de tourbe sont combustibles, nous recommandons que les installations et les pratiques de travail soient revues afin d'en établir la conformité avec la norme NFPA 654 (NFPA, 2000). Il est important que des vérifications périodiques soient effectuées pour s'assurer du maintien des débits d'air et qu'il n'y ait pas de sédimentation importante à l'intérieur des canalisations. De plus, comme le ventilateur est situé en amont du système de dépoussiérage (relativement au sens de l'écoulement de l'air) ceci implique que ses composantes entrent en contact avec des particules combustibles. Cette situation nécessite l'application d'une série de mesures de sécurité notamment en ce qui a trait à la construction et l'entretien du ventilateur ainsi que l'installation de systèmes ou de dispositifs de sécurité limitant, empêchant ou contrôlant la propagation d'un incendie ou d'une déflagration.

5. Conclusions et recommandations

L'exploitation de la tourbe de sphaigne est une activité qui génère des quantités importantes de poussières dans l'environnement de travail. Des concentrations élevées de poussières inhalable, totale et respirable ont été mesurées et de l'accumulation de poussière sur les murs, les planchers et les installations a été observée dans la majorité des tourbières visitées. Cette situation expose les travailleurs à des niveaux qui peuvent dépasser les valeurs limites établies. Ainsi, pour 28 des 37 travailleurs évalués, la valeur d'exposition à la poussière totale excèderait la limite permise.

Si les quantités de poussière dépassent les limites établies, on note également que la quantité de moisissures dans l'air est en corrélation avec la quantité de poussière. Dans les usines annuelles, même si la concentration de moisissures est significativement inférieure à la concentration dans les usines saisonnières, la durée de l'exposition influence la sensibilisation des travailleurs qui est significativement supérieure tandis que les fonctions respiratoires (Tiffeneau) ont tendance à être plus basses. Ceci indique que les travailleurs des usines annuelles sont plus à risque de développer des problèmes respiratoires à cause de leur exposition permanente aux antigènes présents dans l'air. De plus, pour huit de ces tourbières, la présence de quartz dans l'air ajoute un élément de risque à la santé pour les travailleurs puisque les concentrations mesurées atteignaient la valeur limite d'exposition dans quatre des cas et la moitié de cette limite pour les quatre autres. Finalement, le type de poussières aux concentrations mesurées entraîne un risque à la sécurité au niveau de l'explosivité et la propagation d'un incendie ou d'une déflagration.

Pour la majorité de ces établissements, les systèmes de captage à la source ne permettent pas de maîtriser les émissions de poussières à des niveaux acceptables. Plusieurs causes ont été observées dont la vitesse insuffisante pour le captage de ces poussières, la vitesse insuffisante pour leur transport dans les conduits, le débit d'air insuffisant, le nombre insuffisant de capteurs à la source, la distance trop grande entre les capteurs et la source et la détérioration des garnitures d'étanchéité.

Pour assurer un milieu de travail salubre et sécuritaire aux travailleurs des tourbières, nous recommandons que :

- Les installations et les pratiques de travail soient revues afin d'en établir la conformité avec la norme NFPA 654 sur les poussières combustibles. Ainsi, dans plusieurs établissements, le ventilateur était situé avant le système de dépoussiérage (relativement au sens de l'écoulement de l'air); cette situation nécessite l'application d'une série de mesures de sécurité notamment en ce qui a trait à la construction et l'entretien du ventilateur ainsi que l'installation de systèmes ou dispositifs de sécurité limitant, empêchant ou contrôlant la propagation d'un incendie ou d'une déflagration.
- Des modifications soient apportées aux systèmes de ventilation pour en améliorer la performance et la conformité aux règles de l'art. Ainsi l'augmentation du nombre de capteurs, une distance adéquate entre les capteurs et la source d'émission et l'installation de déflecteurs autour des capteurs sont des moyens d'améliorer l'efficacité de captage.

- Des manomètres mesurant la pression statique soient installés en aval des capteurs, pour s'assurer du maintien des conditions aérauliques.
- Des vérifications périodiques soient faites afin 1) de s'assurer du maintien des débits et vitesses d'air 2) qu'il n'y ait pas de sédimentation importante de poussière à l'intérieur des conduits 3) que les garnitures d'étanchéité sont en bon état et 4) qu'il n'y a pas de fuites.
- L'entretien des lieux soit fait de façon régulière afin d'éviter les accumulations de poussières. Il n'est pas recommandé d'utiliser un jet d'air comprimé pour nettoyer car cette pratique favorise la remise en suspension des particules créant un nuage de poussières et constitue une source potentielle d'électricité statique
- De la protection respiratoire appropriée soit fournie aux travailleurs en considérant la possibilité d'exposition au quartz. Dans les conditions d'empoussièrement actuelles, l'utilisation d'un système à adduction d'air est recommandée.

6. Remerciements

Nous tenons à remercier l'Association des producteurs de tourbe du Québec et son président Monsieur Martin Fafard pour son support et sa disponibilité, ainsi que Monsieur Hervé Roy de la CSST du Bas-Saint-Laurent qui nous a communiqué la liste des tourbières possédant un système de dépoussiérage dans le Bas-Saint-Laurent.

Nous remercions également les dirigeants des différentes entreprises qui ont participé à cette étude pour leur précieuse collaboration ainsi que tous les travailleurs de cette industrie.

Nous sommes reconnaissants au Dr Marc Baril de L'IRSST pour ses conseils éditoriaux apportés à la rédaction de ce rapport et remercions également l'équipe de terrain de l'IRSST composée de Rodrigue Gravel, Yves Beaudet, Claude Létourneau, Zélie Fortin et Josée Poulin.

Finalement, nous tenons à remercier Marie-Chantal De Latrémoille pour son support technique efficace, Marie-Pier Cayer pour l'identification des mycobactéries, Serge Simard pour l'analyse statistique et Fernand Bertrand du laboratoire de biochimie de l'Hôpital Laval pour l'analyse des CRP.

7. Liste des articles scientifiques et communications

7.1 Articles publiés, soumis et en préparation

- **Yvon Cormier, Pascal Pageau, Anne Mériaux, Evelyne Israël-Assayag, Madeleine Chabot and Caroline Duchaine.** Sensitization to airborne molds and its health effects in peat moss factory workers. En préparation.
- **Pascal Pageau, Yvon Cormier, Anne Mériaux, Nicole Goyer and Caroline Duchaine.** Microflora of Air and Peat in Peat Moss Processing Plants in Eastern Canada. En préparation.

7.2 Communications

- **Yvon Cormier, Pascal Pageau, Anne Mériaux, Evelyne Assayag and Caroline Duchaine.** Sentitization to airborne molds and its health effects in peat moss factory workers. The 4th Skokloster Workshop, Department of Environmental Medicine, Gothenburg, Sweden, April 7-10 2003.
- **Pascal Pageau, Yvon Cormier, Anne Mériaux, Nicole Goyer and Caroline Duchaine.** Microflora of air and peat in peat moss processing plants in Eastern Canada. The 4th Skokloster Workshop, Department of Environmental Medicine, Gothenburg, Sweden, April 7-10 2003.
- **Pascal Pageau, Yvon Cormier, Anne Mériaux, Evelyne Assayag and Caroline Duchaine** (2002). Sensitization to airborne moulds in peat moss factory workers. Health Research in Rural and Remote Canada : Meeting Challenges, Creating Opportunities. 3rd National Conference, October 24-26 2002, Halifax, Nova Scotia, Canada.
- **Anne Mériaux, Pascal Pageau, Yvon Cormier, Nicole Goyer and Caroline Duchaine** (2002). Microflora of air and peat in peat moss processing plants in Eastern Canada. Health Research in Rural and Remote Canada : Meeting Challenges, Creating Opportunities. 3rd National Conference, October 24-26 2002, Halifax, Nova Scotia, Canada.
- **Pascal Pageau, Yvon Cormier, Anne Mériaux, Evelyne Assayag and Caroline Duchaine** (2002). Sensitization to airborne moulds in peat moss factory workers. Am J Respir Crit Care Med 165 (8) : A461
- **Pascal Pageau, Anne Mériaux, Yvon Cormier, Nicole Goyer and Caroline Duchaine** (2002). Microflora of air and peat in peat moss processing plants in Eastern Canada. Am J Respir Crit Care Med 165 (8) : A522
- **Yvon Cormier, Pascal Pageau , Anne Mériaux, Evelyne Assayag et Caroline Duchaine** (2002). Sensibilisation aux moisissures chez les travailleurs des

tourbières. 6e congrès de pneumologie de langue française, Nice-Acropolis, 26-29 janvier 2002

- **Pascal Pageau, Yvon Cormier, Anne Mériaux, Evelyne Assayag et Caroline Duchaine** (2001). Sensibilisation aux moisissures chez les travailleurs des tourbières. Réunion annuelle de l'Association des pneumologues du Québec, Montréal, 16 et 17 novembre 2001.
- **Nicole Goyer et Yves Cloutier** (2001). Évaluation d'échantillonneurs de poussières en milieu de travail : le cas des tourbières. Colloque international « poussières, fumées et brouillards sur les lieux de travail », Toulouse, juin 2001.

8. Références

- ACGIH (1998) - *Industrial Ventilation. A Manual of Recommended Practice.* American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, 23rd edition,
- Agger WA and Seager GM (1985). Granulomas of vocal cords caused by *Sporothrix schenckii*. Laringoscope 95: 595-596
- Andersen AA (1958). New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable inhaled particles. J Bacteriol 76 : 471-484
- Bauer J, Andersen AB, Askgaard D, Giese SB, Larsen B (1999). Typing of clinical *Mycobacterium avium* complex strains cultured during a 2-year period in Denmark by using IS1245. J Clin Microbiol 37 : 600-605
- Brown-Elliott B and Wallace J (2002). Clinical and taxonomic status of pathogenic nonpigmented or late-pigmenting rapidly growing mycobacteria. Clin Microbiol Rev oct : 716-746
- Burell P, Rylander R (1981). A critical review of the role of precipitins in hypersensitivity pneumonitis. Eur J respir Dis 62 :332-343
- Chatigny M, Macher J, Burge H and Solomon W (1989). Sampling airborne microorganisms and aeroallergens in Air sampling for evaluation of atmospheric contaminants. Hering ed 7th edition : 199-220
- Coles FB, Schuchat A, Hibbs JR (1992). A multistate outbreak of sporotrichosis associated with sphagnum moss. Am J Epidemiol 136: 475-487
- Cormier Y, Bélanger J, Beaudoin J, Laviolette M, Beaudoin R, Hébert J (1984). Abnormal bronchoalveolar lavage in asymptomatic dairy farmers : Study of lymphocytes. Am Rev Respir Dis 130 : 1046-1049
- Cormier Y, Bélanger J and Durand P (1985). Factors influencing the development of serum precipitins to farmer's lung antigen in quebec dairy farmers. Thorax 40 : 138-142
- Cormier Y, Bélanger J, Laviolette M (1986). Persistent bronchoalveolar lymphocytosis in asymptomatic farmers. Am Rev Respir Dis 133 : 843-847
- Cormier Y, Mériaux A and Brochu G (1988). Effects of processing on peat moss microflora. Can J Microbiol 34 : 131-133
- Cormier Y, Boulet LP and Bérubé-Genest F (1990). Effects of chronic organic dust exposure on respiratory function and airway responsiveness in peat moss factory workers. Archiv of Environ Health 45: 21-23
- Cormier Y, Bélanger J (1990b). The fluctuant nature of precipiting antibodies in dairy farmers. Clinical Digest 3 : 26-27
- Cormier Y, Israël-Assayag E, Duchaine C (1998). Hypersensitivity pneumonitis in peat moss processing plant workers. Am J Respir Crit Care Med 158 : 412-417

- Cormier Y, Mériaux A and Duchaine C (2000). Respiratory impact of working in eastern Canadian sawmills. Archiv of Environ Health 55 :412-430
- Crapo R, chairman of the Comittee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories (1995). Standardization of spirometry, 1994 update. Am J Respir Crit Care Med 152: 1107-1136
- Dixon DM, Salkin IF, Duncan RA (1991). Isolation and characterization of Sporothrix Shenckii from clinical and environmental sources associated with the largest U.S. epidemic sporotrichisis. J Clin Microbiol 29 : 1106-1113
- Duchaine C, Israel-Assayag E, Fournier M, Cormier Y(1996). Proinflammatory effect of *Pediococcus Pentosaceus*, a bacterium used as hay preservative. Eur resp J. 9 : 2508-2512
- Duchaine c, Mériaux A, Racine-Bédard G, Simard S et Cormier Y (1999). La qualité de l'air des scieries du Québec et son impact sur la santé des travailleurs : influence des sites de travail et des essences de bois sur la qualité de l'environnement. IRSST R-224
- Duchaine C, Meriaux A, Thorne PS and Cormier Y (2000). Assessment of particulates and bioaerosols in Eastern Canada sawmills. Am Industrial Hyg Assoc J. 61 :724-732
- Eduard W (1995). ImmunoglobulinG antibodies against moulds and actinomycetes as biomarkers of exposure in the working environment. Occup Hyg 1 : 247-260
- Ferris BJ. (1978) Epidemiology standardization project. Am Rev Respir Dis 118: 7-53
- Gouvernement du Québec (2000). Rapport Avril
- Gouvernement du Québec (2001). Règlement sur la santé et la sécurité du travail. Décret 885-2001
- Hajjeh R, McDonnell S, Reef S (1997). Outbreak of sporothrichisis among tree nursery workers. J Infec Dis 176: 499-504
- Harvey I, Cormier Y, Beaulieu C, Akimov V N, Mériaux A and Duchaine C (2001). Amplified ribosomal DNA restriction analysis for the identification of thermophillic actinomycetes associated with hypersensitivity pneumonitis. Syst and App Microbio 24 : 277-284
- INRS (1996). - *Guide pratique de ventilation n°0. Principes généraux de ventilation.* Institut national de recherche et de sécurité, Paris, ED 695
- IRSST (1994-1996). Bilan des analyses environnementales pour la période 94-96
- IRSST (2000). Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail. 7e édition. Rapport T-06. IRSSR, Direction des Opérations. Août
- Kazda J, Müller K and Cook B (1989). Microbiology of sphagnum peat with special reference to mycobacteria. Proc. Int. Symposium on Peat/Peatland Characteristics and uses. S.A. Spigarelli (ed), Bemidji State University, Bemidji, Minnesota, May : 16-20
- Kim SJ and Chaparas SD (1978). Preparation of antigens from organisms grown in completely synthetic medium. Am Rev of Respiratory Dis 118 : 547-551

- Klich, MA, and JI Pitt (1994). A laboratory guide to common *Aspergillus* species and their teleomorphs. North Ryde, Australia: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Division of Food Processing.
- Koide M, Arakaki N and Saito A (2001). Distribution of Legionelle longbeachae and other legionella in Japanese potting soils. J Infec Chemother 7 : 224-227
- Kuster E and Locci R (1963a). Studies on Peat and Peat microorganisms. I Taxonomic studies on thermophilic Actinomycetes isolated from peat. Archiv fur Mikrobiol 45: 188-197
- Kuster E (1963b). Studies on irish peat bogs and their microbiology. Microbiol. Espan 16 : 203-208
- Kuster E and Locci R (1964). Studies on Peat and Peat microorganisms. II Occurrence of thermophillic fungi in peat. Archiv fur Mikrobiol 48: 319-324
- Livanainen E (1995) Isolation of mycobacteria from acidic forest soil samples: comparison of culture methods. J Appl Bacteriol 78 :663-668
- Lovodic-Sivcev B and Vukelic A (1999). Changes in kidneys in patients with successive findings of *Mycobacterium xenopi* and *Mycobacterium fortuitum* in urine : report of 16 cases. Med Pregl 52 : 334-342
- NFPA (2000). - *NFPA 654, Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids*. National Fire Protection Agency, Quincy
- Pitt JI (1979). The genus *Penicillium* and its teleomorphic states *Eupenicillium* and *Talaromyces*. Academic Press
- Poliakova AV,Chernov Ilu and Panikoc NS (2001). Yeast biodiversity in hydromorphic soils with reference to grass-sphagnum swamp in Western Siberia and the hammocky tundra region. Mikrobiologiia 70 : 714-720
- Samson RA, Hoekstra ES, Frisvad JC and Filtenborg O (1996). Introduction to food-borne fungi. Centraalbureau Voor Schimmelcultures. The Netherlands
- Schulyer M, Schmitt D, Steinberg D (1982). Hypersensitivity pneumonitis in stain II guinea pigs. I. Histological features. Int Archs Allergy Appl Immun 68: 108-111
- Shelton BG (1999). Mycobacterium sp. as a possible cause of hypersensitivity pneumonitis in machine workers. Emerg Infec dis 5 : 270-273
- St-Germain G and Summerbell R (1996). Champignons filamenteux d'intérêt médical. Star Publishing Company. Belmont
- Steele TW, Lanser J and Sangster N (1990). Isolation of Legionella longbeachae serogroup 1 from potting mixes. App and Env Microbiol 1 : 49-53
- Tremblay V (1985). Évaluation du milieu de travail des tourbières de la côte Nord. APPSST, Montréal
- Wang CJK and Zabel RA (1990). Identification manual for fungi from utility poles in the eastern united states. American Type Culture Collection: Lawrence

Figures

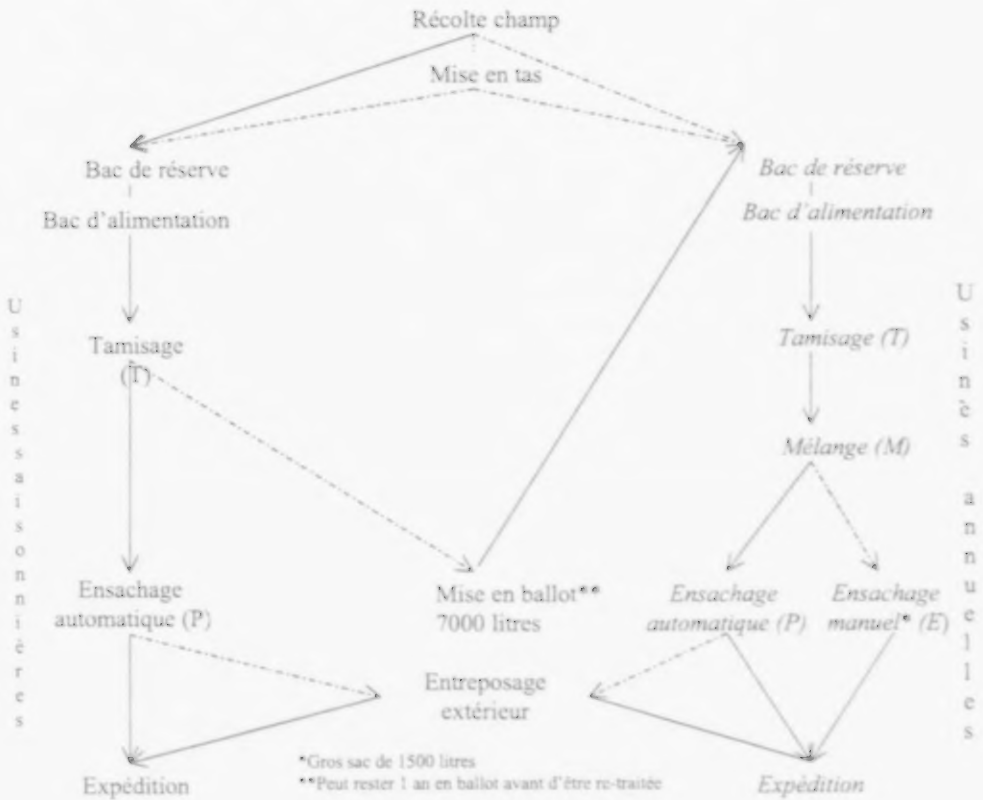


Figure 2: Cheminement de la tourbe

Figure 3: Aspirateurs pour la récolte de la tourbe

Figure 4: Bac de réserve

Figure 5: Presse-ensacheuse

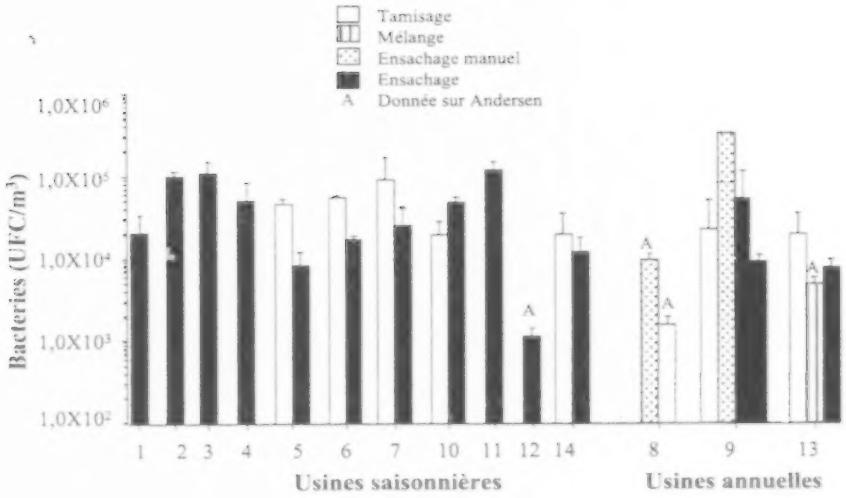


Figure 6: Bactéries dans l'air à divers sites de travail

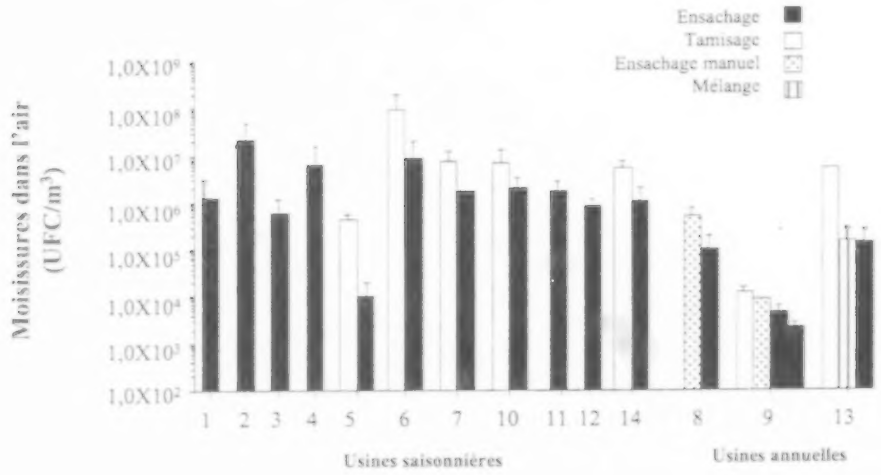


Figure 7: Moisissures dans l'air à divers sites de travail

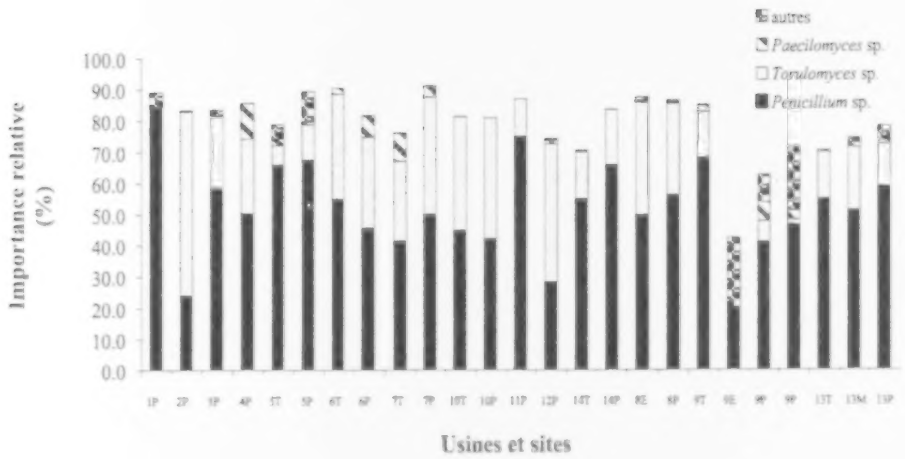


Figure 8: Importance relative des de moisissures identifiées dans l'air

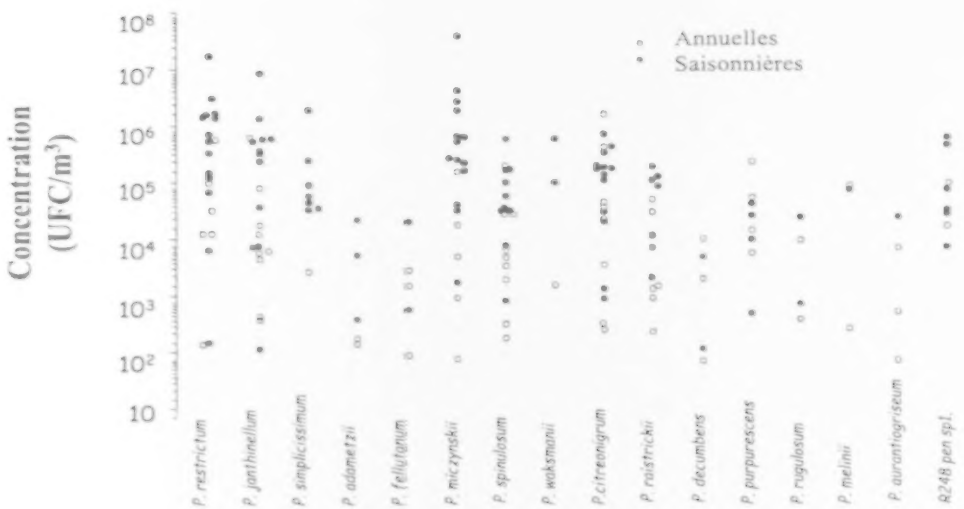


Figure 9: *Penicillium* majoritaires retrouvés dans l'air

Figure 10: Autres espèces de *Penicillium* isolées dans l'air

Figure 11: Autres taxons isolés dans l'air

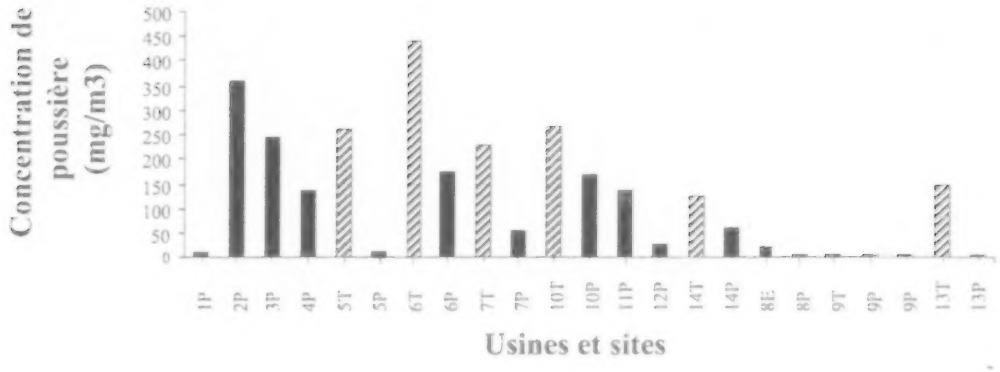


Figure 12: Poussière inhalable en poste fixe(P=presse; T=tamis; E=ensachage)

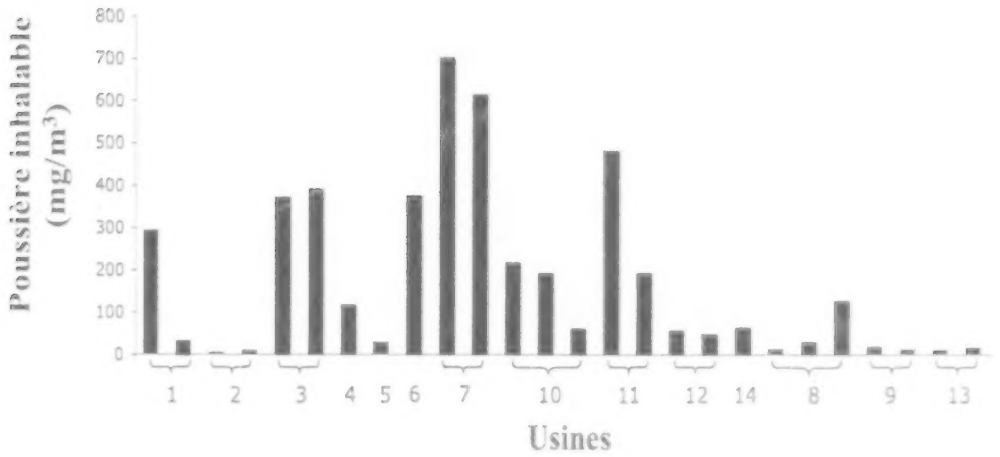


Figure 13: Poussière personnelle en zone inhalable des ensacheurs

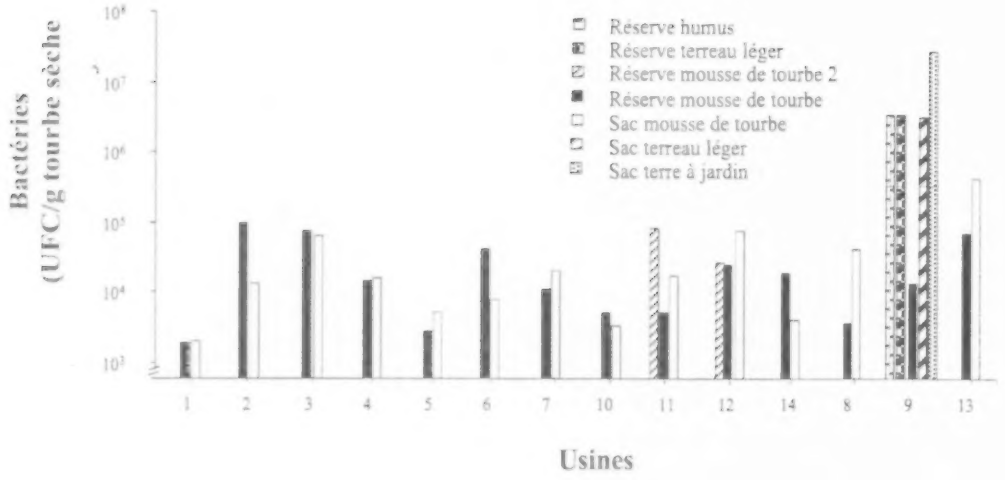


Figure 14: Concentration des bactéries dans la tourbe

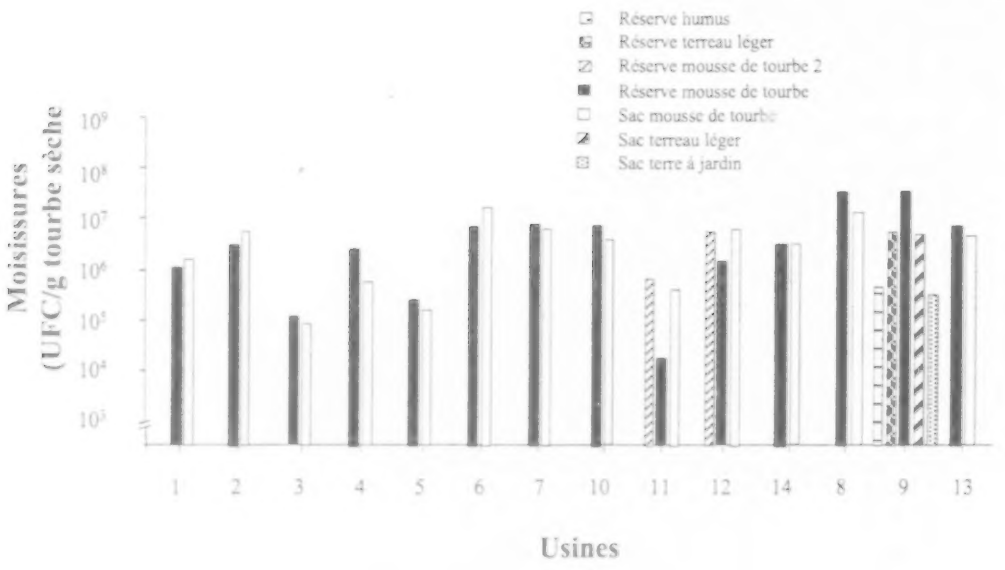


Figure 15: Concentration des moisissures dans la tourbe

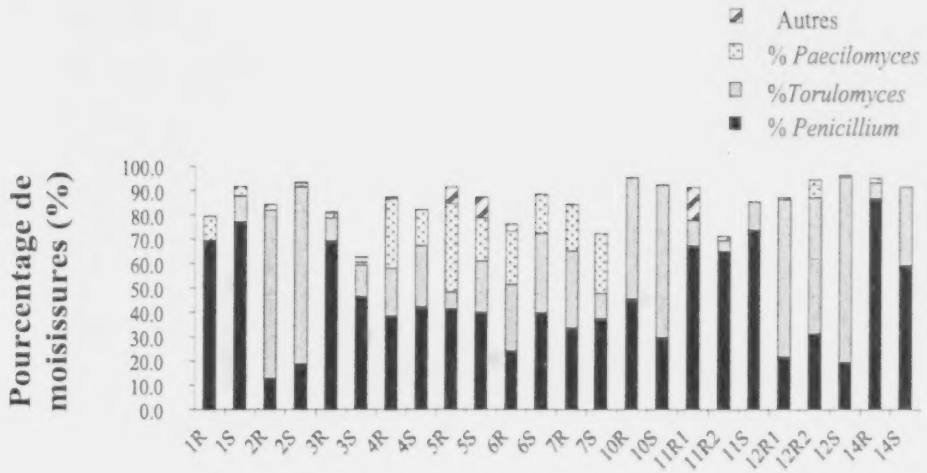


Figure 15a: Pourcentage de moisissures identifiées dans les usines saisonnières à partir de la tourbe (R=réserve; S=sac)

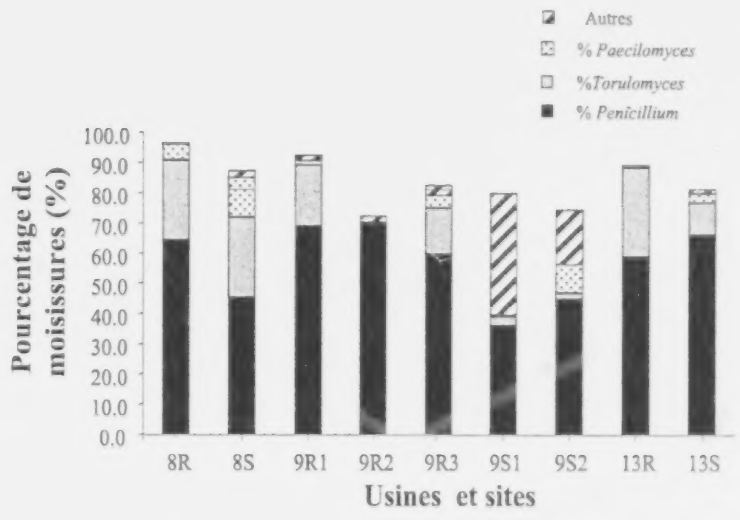


Figure 15b: Pourcentage de moisissures identifiées dans les usines annuelles à partir de la tourbe (R=réserve; S=sac)

Figure 16: Espèces de *Penicillium* majoritaires isolées de la tourbe

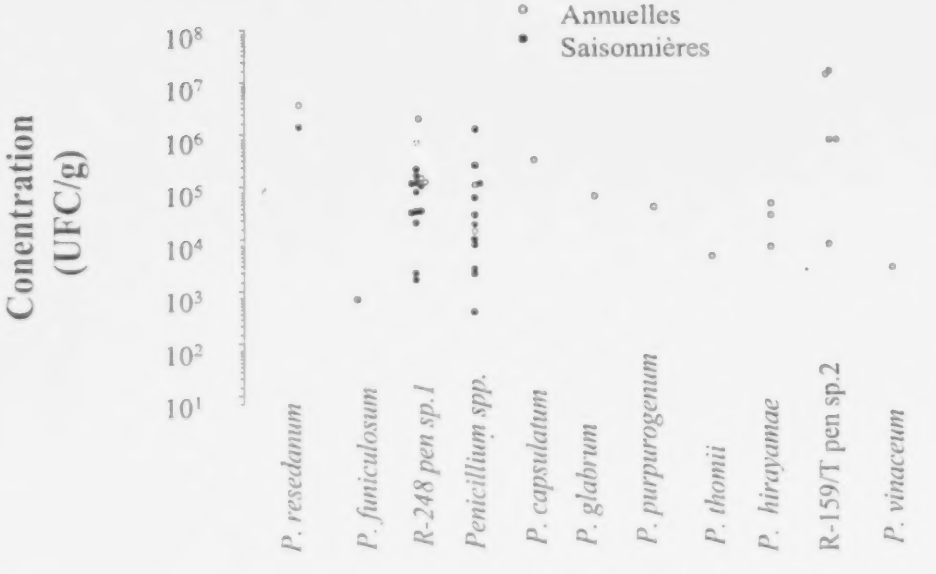


Figure 17: autres *Penicillium* retrouvés dans la tourbe

Figure 18: autres taxons retrouvés dans la tourbe

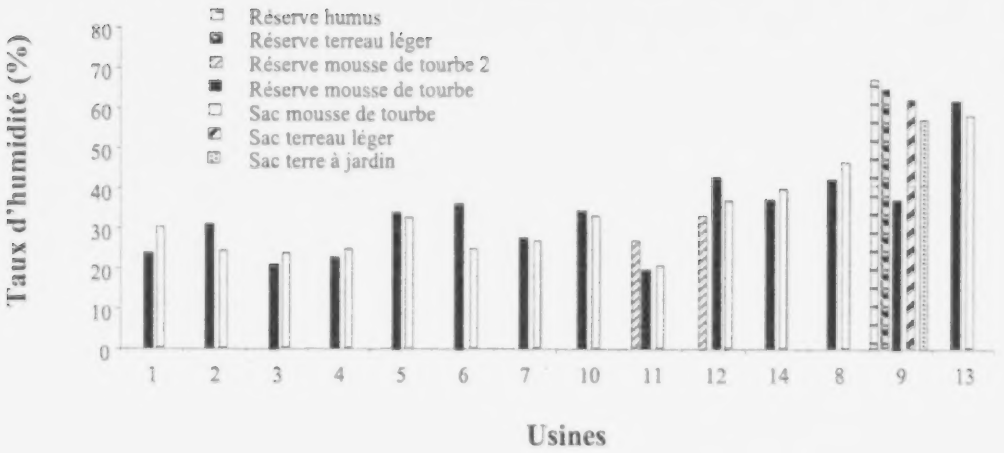


Figure 19: Pourcentage d'humidité dans la tourbe

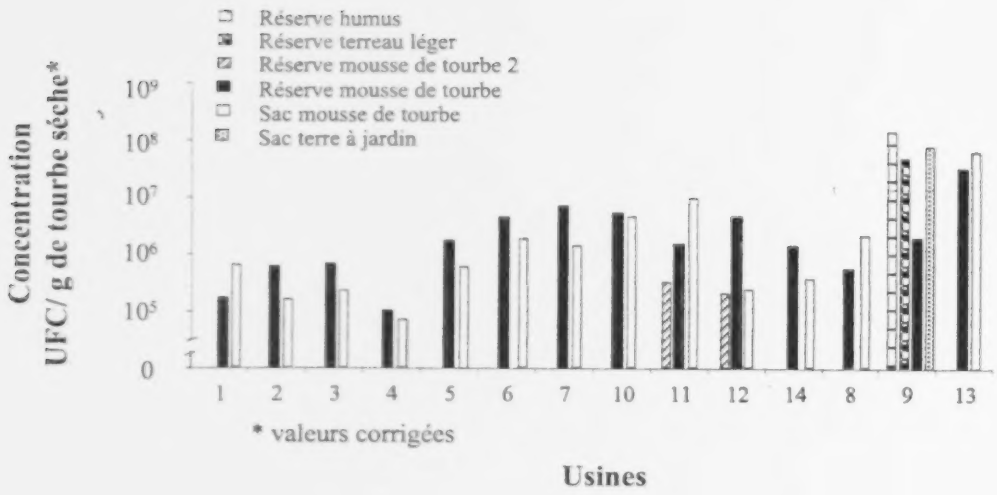


Figure 20: Concentration des bacilles acido-alcoolo résistants dans la tourbe

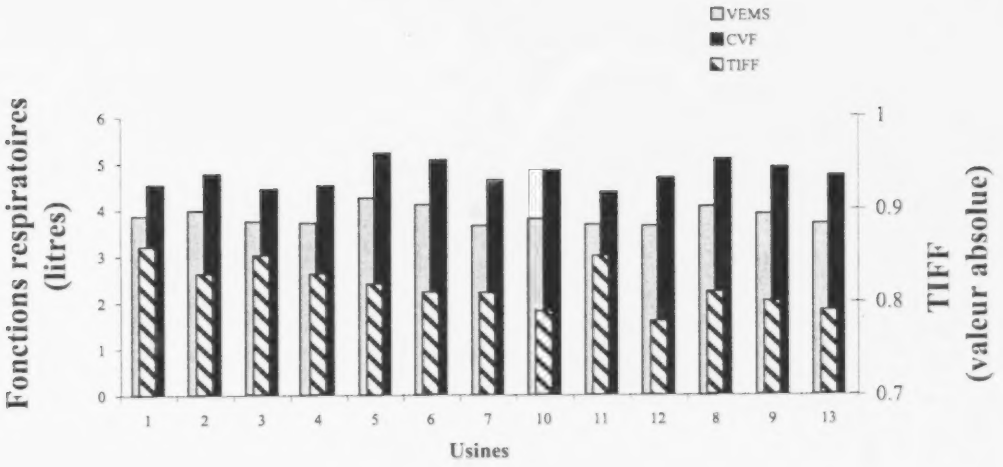


Figure 21: Comparaison VEMS, CVF et TIFF

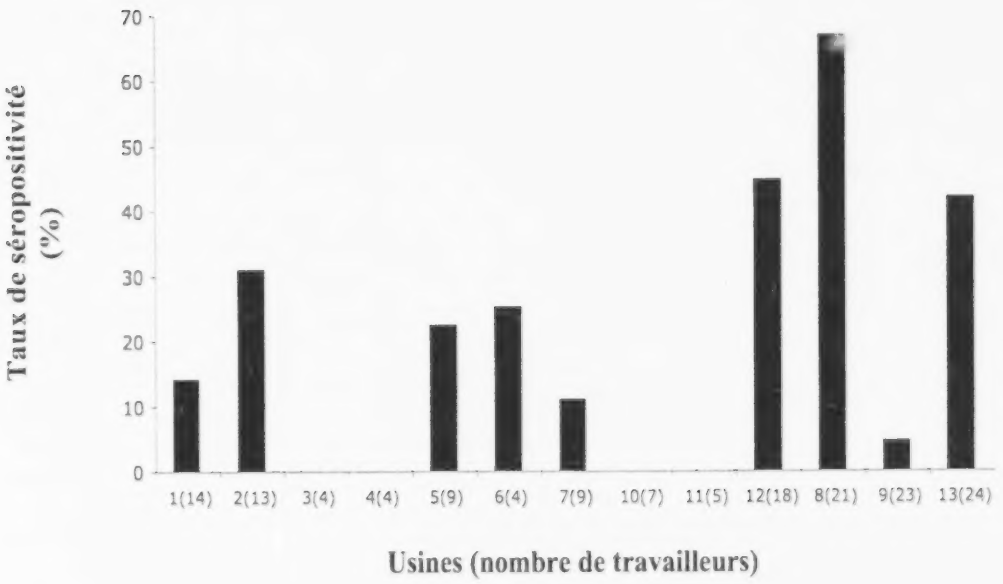


Figure 22: Pourcentage de séropositivité par usine

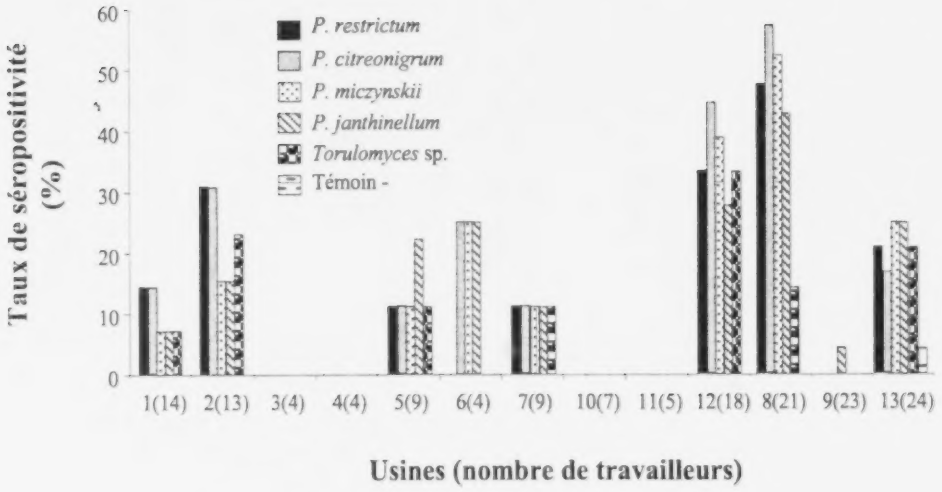


Figure 23: Pourcentage de séropositivité par antigène et par usine

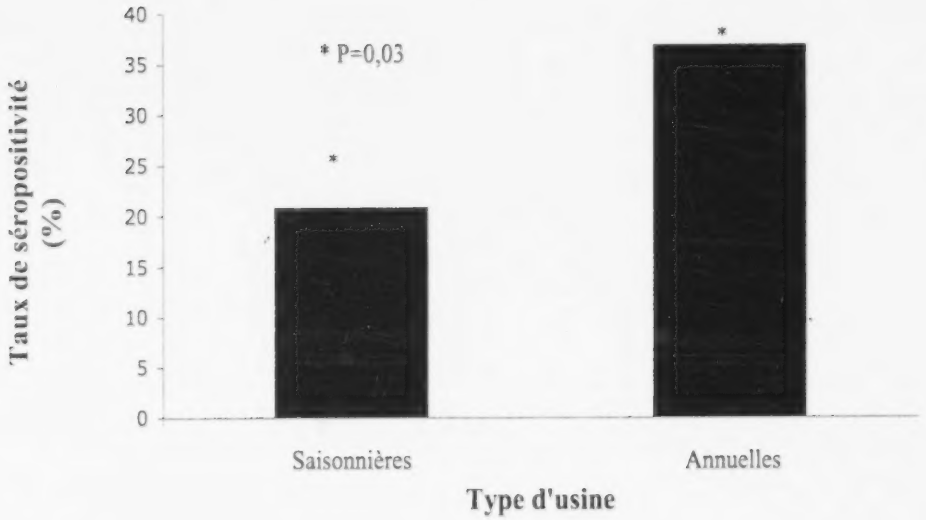


Figure 24: Comparaison de la séropositivité par type d'usine

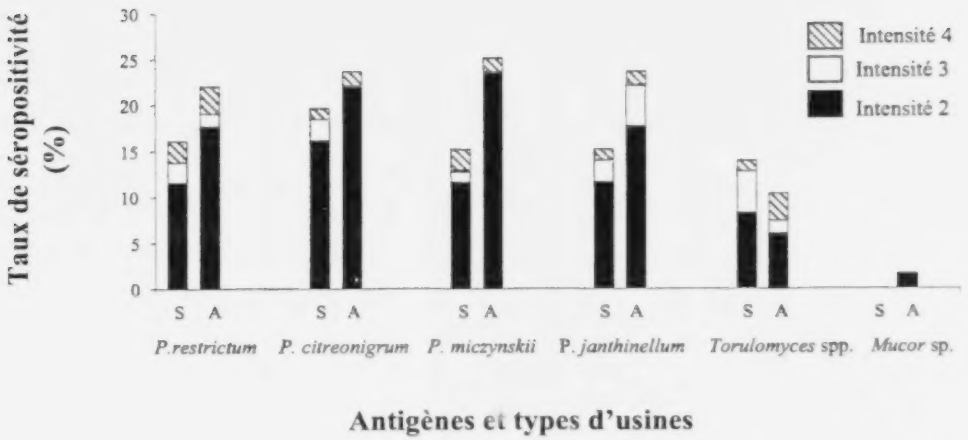


Figure 25: Intensité de la sensibilisation aux différents antigènes dans les usines saisonnières (S) et annuelles (A)

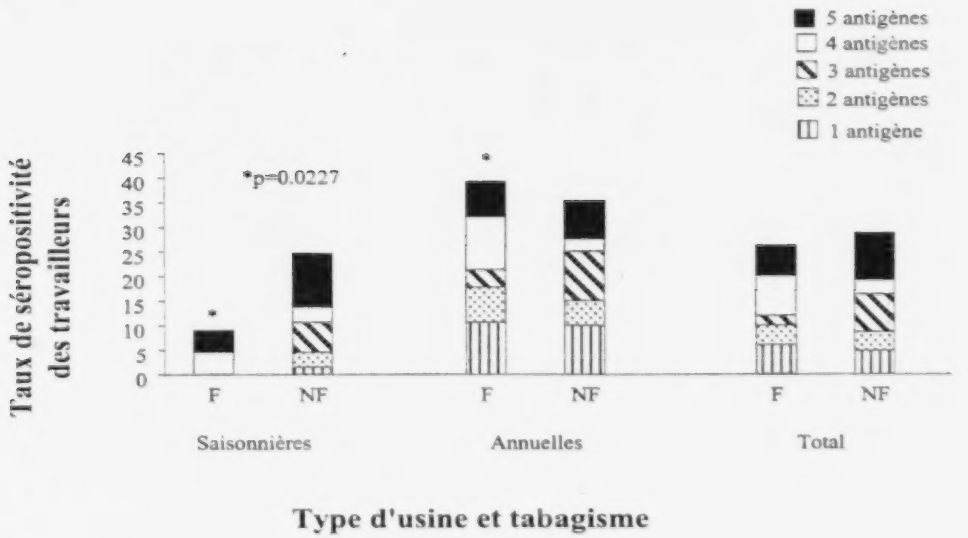


Figure 26: Fréquence de séropositivité à un ou plusieurs antigènes en fonction du tabagisme [fumeur (F) et non fumeur (NF)]

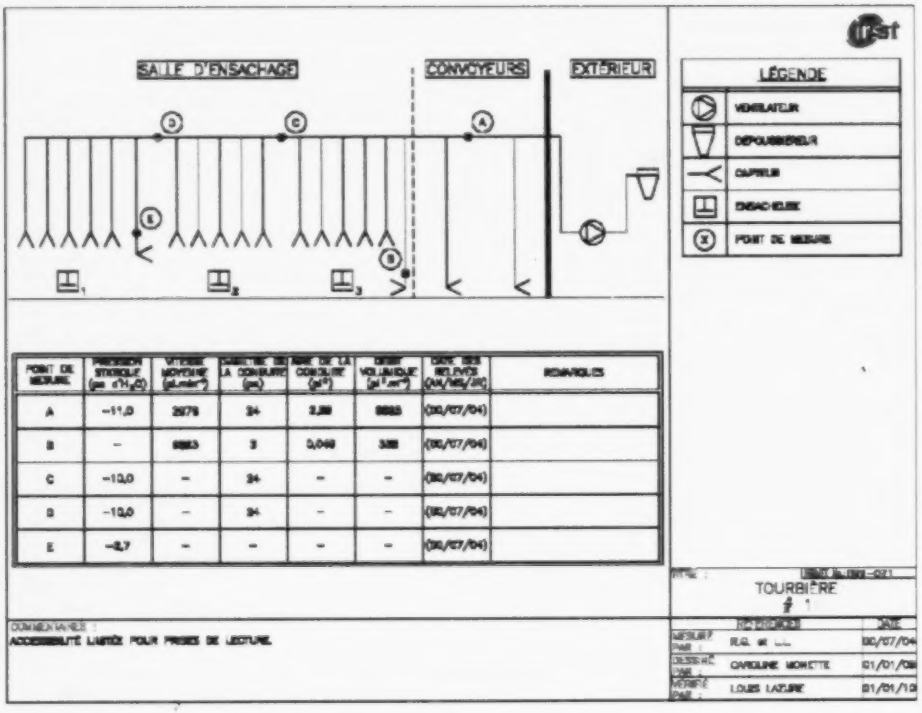


Figure 28: Tourbière 1

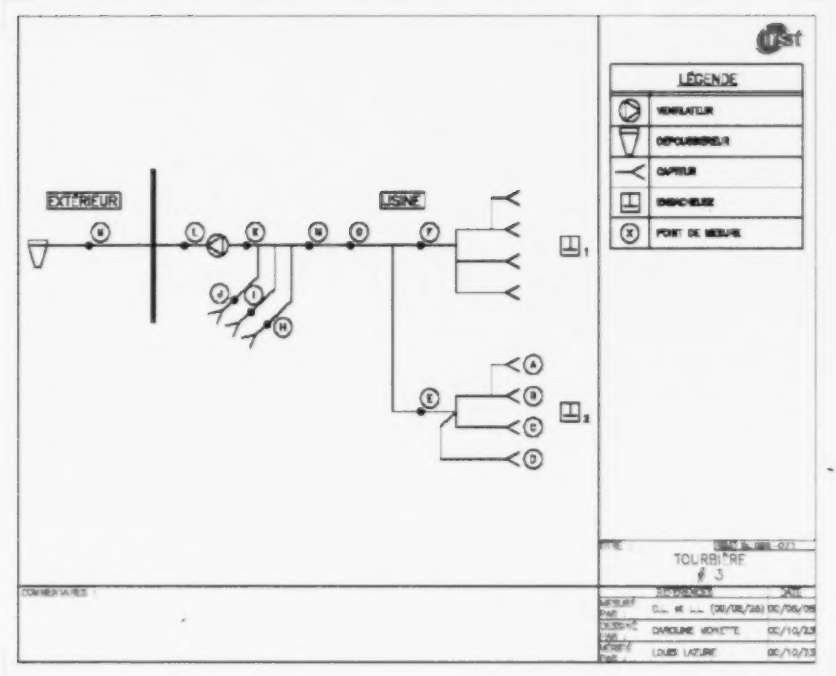


Figure 29a: schéma des installations de la tourbière 3

POINT DE MESURE	PRESSION STATIQUE (po d'H_2O)	VITESSE MOYENNE (pi/min)	DIAMÈTRE DE LA CONDUITE (po)	AIRE DE LA CONDUITE (pi^2)	DÉBIT VOLUMIQUE (pi^3/min)	DATE DES RELEVÉS (AA/MM/JJ)	REMARQUES
A	-2,0	2767	6	0,1963	540	(00/08/08)	
B	-1,8	3060	6	0,1963	600	(00/08/08)	
C	-3,0	2442	6	0,1963	479	(00/08/08)	
D	–	–	–	–	633	(00/08/08)	E − (A + B + C)
E	-0,80	2989	12	0,785	2346	(00/08/08)	PS= -3,0 po H_2O le 00/08/2[illegible]
F	-2,8	–	–	–	1651	(00/08/08)	G − E PS= 3,1 po H_2O le 00/08/[illegible]
G	-3,0	2767	18	1,386	3604	(00/08/08)	
H	-4,5	3810	6	0,1963	701	(00/08/08)	
I	-3,3	4063	6	0,1963	800	(00/08/08)	
J	-3,46	3526	6	0,1963	693	(00/08/08)	
K	6,4	–	18	1,386	6810[illegible]	(00/08/08)	PS= 7,1 po H_2O [illegible]
L	8,6	–	–	–	–	(00/08/08)	PS= 8,2 po H_2O le 00/08/[illegible]
M	7,6	5336	18	1,386	7401	(00/08/08)	PS= 7,6 po H_2O le 00/08/[illegible]

COMMENTAIRES :
AUGMENTATION DE LA PRESSION STATIQUE EN AMONT DU VENTILATEUR ATTRIBUABLE AU COLMATAGE D'UN TROU D'ENVIRON 3 POUCES DE DIAMÈTRE À G.

TITRE : TOURBIÈRE # 3

	RESPONSABLE	DATE
MESURÉ PAR :	C.L. et L.L. (00/08/26)	00/08/08
DESSINÉ PAR :	CAROLINE MONETTE	00/10/23
VÉRIFIÉ PAR :	LOUIS LAZURE	00/10/23

Figure 29b: Mesures des paramètres de ventilation des installations de la tourbière 3

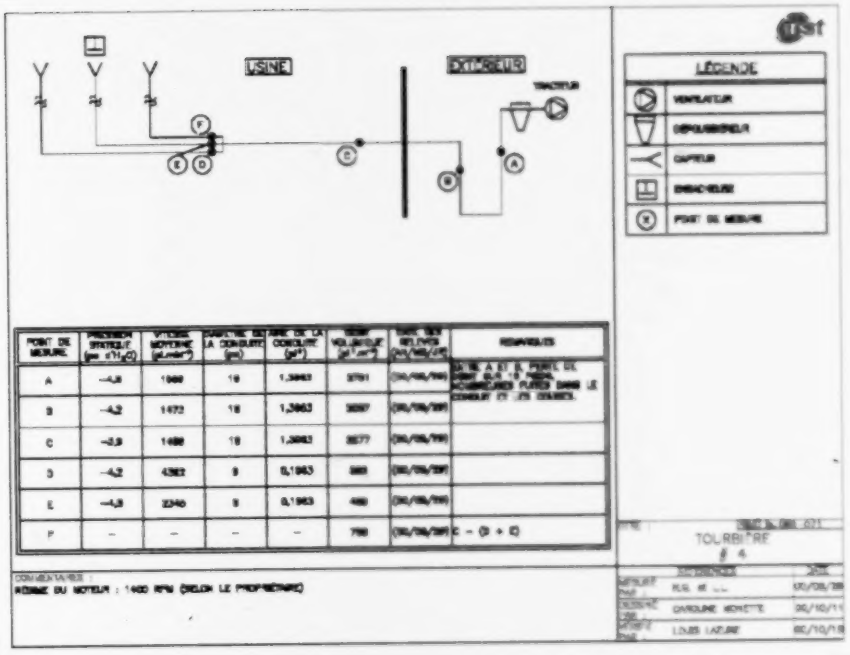


Figure 30: Tourbière 4

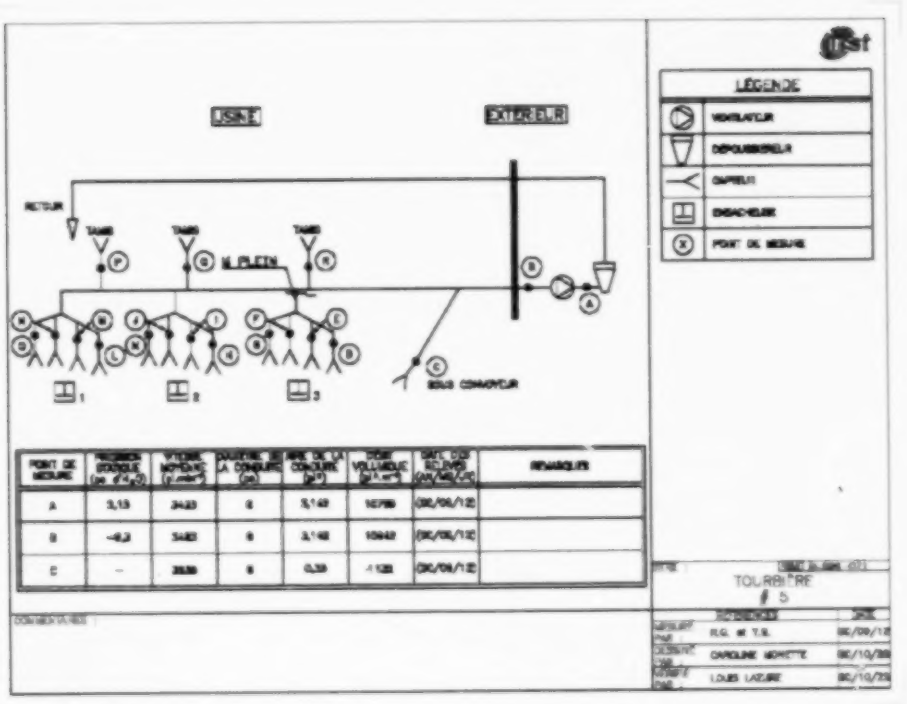


Figure31a: schéma des installations de la tourbière 5

POINT DE MESURE	PRESSION STATIQUE (po d'H₂O)	VITESSE MOYENNE (pi·min⁻¹)	DIAMÈTRE DE LA CONDUITE (po)	AIRE DE LA CONDUITE (pi²)	DÉBIT VOLUMIQUE (pi³·min⁻¹)	DATE DES RELEVÉS (AA/MM/JJ)	REMARQUES
D	-0,16	777	6	0,196	152	(00/09/12)	
E	-0,25	1008	6	0,196	197	(00/09/12)	
F	-0,24	1000	6	0,196	196	(00/09/12)	
G	-0,29	1040	6	0,196	204	(00/09/12)	
H	-1,70	3353	6	0,196	657	(00/09/12)	
I	-2,2	4089	4	0,0873	357	(00/09/12)	
J	-2,8	4111	4	0,0873	359	(00/09/12)	
K	-3,8	3735	6	0,196	732	(00/09/12)	
L	-4,7	3508	6	0,196	687	(00/09/12)	
M	-2,8	4480	4	0,0873	391	(00/09/12)	
N	-3,2	5222	4	0,0873	456	(00/09/12)	
O	-4,3	3965	6	0,196	779	(00/09/12)	
P	-	-	-	-	-	(00/09/12)	
Q	-	-	-	-	-	(00/09/12)	
R	-	-	-	-	-	(00/09/12)	

COMMENTAIRES :
- DÉPOUSSIÉREUR 3 EN OPÉRATION SEULEMENT
  FERMETURE DU VOLET D'ÉQUILIBRE À ENVIRON 50%, ACCUMULATION IMPORTANTE DE POUSSIÈRE DANS LE CONDUIT.
- CAPTEURS P, Q, R NON MESURÉS

TITRE : TOURBIÈRE # 5 — DESSIN No. [illegible]

RÉFÉRENCES		DATE
MESURÉ PAR :	R.G. et T.B.	00/09/12
DESSINÉ PAR :	CAROLINE MORETTE	00/10/25
VÉRIFIÉ PAR :	LOUIS LAZURE	00/10/25

Figure 31b: Mesures des paramètres de ventilation des installations de la tourbière 5

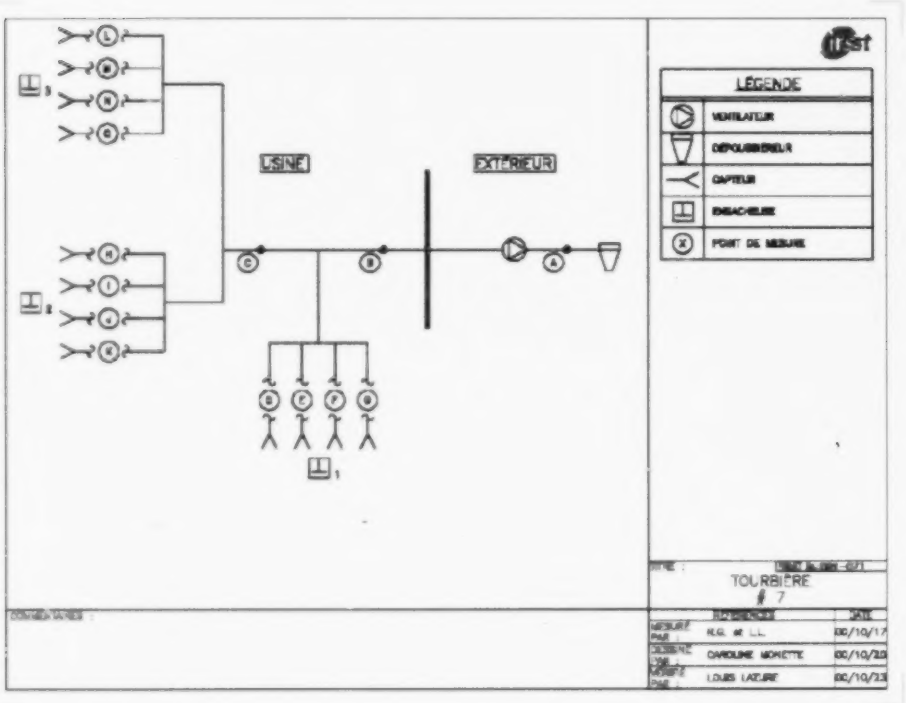


Figure 32a: schéma des installations de la tourbière 7

POINT DE MESURE	PRESSION STATIQUE (po d'H_2O)	VITESSE MOYENNE ($pi.min^{-1}$)	DIAMÈTRE DE LA CONDUITE (po)	AIRE DE LA CONDUITE (pi^2)	DÉBIT VOLUMIQUE ($pi^3.min^{-1}$)	DATE DES RELEVÉS (AN/MS/JR)	REMARQUES
A	−6,6	4256	17	1,58	6709	(00/10/17)	
B	2,1	4870	17	1,58	7678	(00/10/17)	
C	−7,1	4298	12 x 12	1,0	4299	(00/10/17)	
D	–	–	4	0,087	2036*	(00/10/17)	ENSACHEUSE 1 CAPTEUR : INSTALLATION/SAC
E	–	–	4	0,087		(00/10/17)	ENSACHEUSE 1 CAPTEUR : REMPLISSAGE
F	−6,0	7765	4	0,087	578	(00/10/17)	ENSACHEUSE 1 CAPTEUR : COMPACTAGE
G	−5,7	7110	4	0,087	616	(00/10/17)	ENSACHEUSE 1 CAPTEUR : COMPACTAGE
H	−6,2	1517	4	0,087	132	(00/10/17)	ENSACHEUSE 2 CAPTEUR : INSTALLATION/SAC
I	−4,8	7145	4	0,087	622	(00/10/17)	ENSACHEUSE 2 CAPTEUR : REMPLISSAGE
J	−6,1	6630	4	0,087	577	(00/10/17)	ENSACHEUSE 2 CAPTEUR : COMPACTAGE
K	−6,1	8390	4	0,087	730	(00/10/17)	ENSACHEUSE 2 CAPTEUR : COMPACTAGE [redacted]
L	−9,46	7146	4	0,087	624	(00/10/17)	ENSACHEUSE 3 CAPTEUR : INSTALLATION/SAC
M	−6,9	6935	4	0,087	586	(00/10/17)	ENSACHEUSE 3 CAPTEUR : REMPLISSAGE
N	−6,7	[illegible]	4	0,087	[illegible]	(00/10/17)	ENSACHEUSE 3 CAPTEUR : COMPACTAGE
O	−4,7	6760	4	0,087	588	(00/10/17)	ENSACHEUSE 3 CAPTEUR : COMPACTAGE [redacted]

COMMENTAIRES :
* DÉBIT COMBINÉ ESTIMÉ PAR BILAN DE MASSE (TOTAL DES 2 CAPTEURS D ET E).

TITRE : [illegible]
TOURBIÈRE
7

	RÉFÉRENCES	DATE
MESURÉ PAR :	R.G. et L.L.	00/10/17
DESSINÉ PAR :	CAROLINE MONETTE	00/10/20
VÉRIFIÉ PAR :	LOUIS LAZURE	00/10/23

Figure 32b: mesures des paramètres de ventilation de la tourbière 7

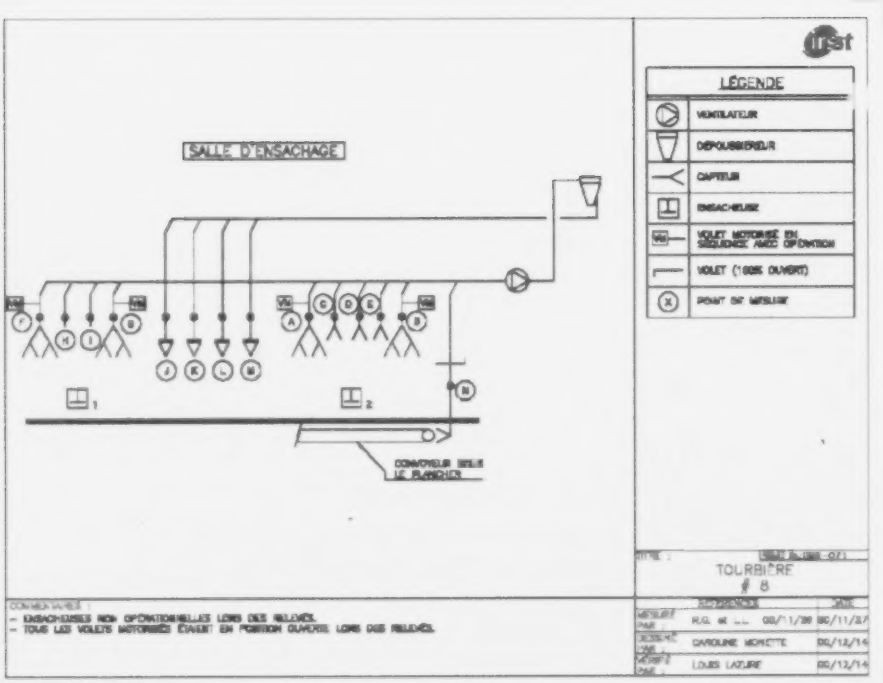


Figure 33a: schéma des installaitons de la tourbière 8

POINT DE MESURE	PRESSION STATIQUE (po d'H_2O)	VITESSE MOYENNE (pi/min)	DIAMÈTRE DE LA CONDUITE (po)	AIRE DE LA CONDUITE (pi²)	DÉBIT VOLUMIQUE (pi³/min)	DATE DES RELEVÉS (AN/MS/JR)	REMARQUES
A	-1,1	2130	6	0,1963	420	(00/11/28)	CAPTEUR REMPLISSAGE
B	-0,88	1958	6	0,1963	384	(00/11/28)	CAPTEUR COMPACTAGE
C	-2,0	2944	4	0,0873	257	(00/11/28)	CAPTEUR AU-DESSUS COMPACTAGE
D	-0,87	[illegible]	4	0,0873	321	(00/11/28)	CAPTEUR AU-DESSUS COMPACTAGE
E	-0,83	2900	4	0,0873	253	(00/11/28)	CAPTEUR AU-DESSUS COMPACTAGE
F	-1,5	2494	6	0,1963	490	(00/11/28)	CAPTEUR REMPLISSAGE
G	-0,97	1933	6	0,1963	379	(00/11/28)	CAPTEUR COMPACTAGE
H	-1,85	3538	4	0,0873	381	(00/11/28)	CAPTEUR AU-DESSUS COMPACTAGE
I	-0,92	3827	4	0,0873	334	(00/11/28)	CAPTEUR AU-DESSUS COMPACTAGE
J	-	3962	8	0,3491	1383	(00/11/28)	ALIMENTATION AU-DESSUS CONVOYEUR PROXIMITÉ EMBOUCHURE NO.1
K	-	3910	8	0,3491	1372	(00/11/28)	ALIMENTATION AU-DESSUS CONVOYEUR VERS L'EXTÉRIEUR
L	-	4050	8	0,3491	1414	(00/11/28)	ALIMENTATION AU-DESSUS CONVOYEUR PROXIMITÉ EMBOUCHURE NO.2
M	-	3567	8	0,3491	1245	(00/11/28)	ALIMENTATION AU-DESSUS CONVOYEUR PROXIMITÉ EMBOUCHURE MANUELLE*
N	-2,4/-3,6	4372	8	0,3491	1527	(00/11/27)	ASPIRATION DE CONVOYEUR SOUS PLANCHER

* NON OPÉRATIONNELLE

COMMENTAIRES :

TITRE : TOURBIÈRE # 8

MESURÉ PAR : R.G. et L.L. 00/11/28

DESSINÉ PAR : CAROLINE MONETTE 00/12/14

VÉRIFIÉ PAR : LOUIS LAZURE 00/12/14

Figure 33b: mesures des paramètres de ventilation de la tourbière 8

Annexe 1 : Etude préliminaire et questionnaire

Hypersensitivlty Pneumonitis in Peat Moss Processing Plant Workers

YVON CORMIER, EVELYNE ISRAËL-ASSAYAG, GAÉTANE BÉDARD, and CAROLINE DUCHAINE

Unité de Recherche, Centre de Pneumologie, Hôpital and Université Laval, Ste-Foy, Québec, Canada

A nonsmoking 54-yr-old man, employed in a peat moss packaging plant, developed dyspnea and recurrent fever. The diagnosis of hypersensitivity pneumonitis (HP) was made. Thirteen of 14 coworkers and 13 nonexposed control subjects were studied. Five workers were nonsmokers, two were minimal smokers, and six were smokers. HP was found in another subject. *Monocillium* sp. and *Penicillium citreonigrum*, 4.6 x 10^7 CFU/g, were found in the peat moss. Three nonsmokers, the two minimal smokers (including the subject with HP), and the index case had antibodies to these microorganisms; none of the six heavy smokers had antibodies. Serum TNF-α was higher in the workers than in the control subjects (0.930 ± 0.177 versus 0.350 ± 0.076). Three of the four asymptomatic seropositive workers and two seronegative smokers were further evaluated. All three seropositive workers had normal lung functions and CT but they all had a lymphocytic alveolitis (30, 34, and 68% lymphocytes in their bronchoalveolar lavage [BAL]). The smokers had normal lung functions, CT, and percentage of BAL lymphocytes (3 and 13%). This study identified a previously unrecognized work environment that can lead to HP and documented a protective effect of smoking on the response to antigens. Cormier Y, Israël-Assayag E, Bédard G, Duchaine C. Hypersensitivity pneumonitis in peat moss processing plant workers. AM J RESPIR CRIT CARE MED 1998; *158:412-417*

Hypersensitivity pneumonitis (HP) is a worldwide lung disease caused by an immune response to a large variety of inhated antigens. Responsible environments contain large quantities of airborne bacteria, fungi, or avian proteins, Typically, HP manifests itself as recurrent febrile episodes 3 to 8 h after antigenic contact, dyspnea, cough, and chest tightness. Weight loss eventually occurs also if the disease process is prolonged (1).

Clinical evaluation usually reveals inspiratory crackles, interstitial infiltrates on chest radiographs, restrictive alterations in lung fonction associated with a decrease in lung diffusion capacity, a lymphocytic alveolitis on lung lavage, and loosely formed granulomas on lung biopsies (2).

Exhaustive listings of environments and causative agents associated with HP have been published (1). The most frequent entities are farmer's lung, bird fancier's disease, and humidifier lung. Specific entities differ from one region of the world to another. A typical example of this is the importance of summer-type HP in Japan (3), a disease not found in America or Europe.

Peat moss, an organic substance derived from sphagnum moss, is harvested in many areas of the world. This product is most often used as fuel to beat homes, as a soil additive, or in the fabrication of organic filters. Although this material can be contaminated by molds (4), no report of HP associated with it has to our knowledge been reported. In a previous study of workers in a peat moss packaging plant, no evidence of HP was found (5).

(Received in original form December 18, 1997 and in revised from March 20, 1998)

Supported by l'Institut de Recherche en Santé et Sécurité du Travail (IRSST) du Québec.

Correspondence and requests for reprints should be addressed to Dr. Yvon Cormier, Hôpital Laval, 2725 Chemin Ste-Foy, Ste-Foy, PQ, GIV 4G5 Canada.

Am J Respir Crit Care Med Vol 158. pp 412-417, 1998

Internet address: www.atsjournals.org

Large deposits of peat moss are harvested in eastern Canada. Peat moss harvesters act like giant vacuum cleaners and suck the loose dry material as they sweep large open fields. This collected material is stacked in huge piles to further dry before being conveyed to a bagging plant. It is in these stacks that, depending on the humidity of the collected material, the growth of microorganisms can occur. In a previous study we have shown that *Penicillium* sp. and *Monocillium* sp. constitute the most abundant molds present in these stacks (4). Peat moss can also contain various mycobacteria, some of which are known pathogens (6). *Sporotrix schenckii* is also a common contaminant of peat moss (7).

Cutaneous sporotricosis is the most frequently reported disease associated with the handling of peat products (8), but other organs can also be infected (9). Considering that *Penicillium* molds are known to be responsible for some cases of HP (1), the lack of prior description of this disease in workers exposed to this material is surprising.

METHODS

Case Study

A 50-yr-old ex-smoker, employed as a repair man in a peat moss processing plant, was referred to our institution with a history of progressive dyspnea and episodic bouts of afternoon fever over a 3-mo period. The patient noted that the febrile épisodes always occurred at the end of a work shift and were not present on days off from work. These episodes culminated in a severe bout of dyspnea, which led to his admission to a rural hospital. On admission the patient was tachypneic and dyspneic at rest. He was cyanotic, his temperature was 40° C, and bilateral inspiratory crackles were heard over both lung fields. Chest radiographs revealed diffuse interstitial infiltrates. Arterial blood gas analysis while the patient breathed room air showed a Pa_{O2} at 49 mm Hg and a Pa_{CO2} at 37 mm Hg. HP was suspected, and the patient was administered supplemental O_2 and, on the following day, transferred to us for further evaluation; his fever had now abated and

his dyspnea was slightly improved. Lung functions showed a severe restrictive pattern (TLC = 55%, RV - 66%, and VC = 58% predicted) with a reduction in lung diffusion capacity (DL_{CO} = 44% predicted). High resolution computed tomography (HRCT) showed patchy alveolar infiltrates. A bronchoscopy was performed to obtain a bronchoalveolar lavage (BAL) and transbronchial lung biopsies. Cellular counts were 1,225 X 10^3 cells/ml; of these 57% were lymphocytes. Lung biopsies showed a lymphocytic infiltration with multiple multinucleated giant cells compatible with acute HP. Subsequent serology identified specific antibodies of molds found in the peat moss used in the plant *(see betow)*. The patient was treated with high dose corticosteroids (50 mg prednisolone/d) for 1 wk. His symptoms rapidly abated and this treatment was discontinued. Reevaluation 1 mo later showed that all sign and symptoms had resolved; chest radiographs and lung functions had returned to normal. Note that he had not resumed contact with the work environment.

We contacted the company where this man worked and oblained permission to: *(1)* take samples of the material used in the plant to analyze for possible microbial contamination, and *(2)* to examine the other workers for evidence of respiratory disorders and markers of an immune (antibodies) or inflammatory (cytokines) response to their work environment.

Microbiologic Analyses

Microbiologie analyses were performed on each of the six products used to prepare a commercial mixture of a peat-moss-based soil additive. Three 1-g samples of each of these products were placed in sterile plastic containers with 50 ml of sterile saline containing 0.05% Tween 80 and 1 g of glass beads (0.45 mm) (Braun, Melsungen, Germany) to increase the friction and make washing more efficient. The samples were vigorously agitated with a vortex intermittently for 15 min. Serial dilutions were made from the solution obtained (10^{-1} to 10^{-3}) in sterile saline solution). One hundred microliters of these dilutions were plated on appropriate media for total bacterial counts and thermophilic actinomycetes, Tryptic Soy Agar (Difco Laboratories. Detroit, MI) supplemented with cycloheximide (500 mg/L) was used and incubated al 30° C for bacteria and 52° C for thermophilic actinomycetes counts. Molds were grown on Rose Bengal Agar (Difco) supplemented with chloramphenicol (50 mg/L). Microorganisms were counted and molds were identified by genus. For *Penicillium*, John I. Pitt's laboratory guide (10) was used for species identification.

Evaluation of Workers

Thirteen of the 14 coworkers agreed to participate in the initial phase of our study. The study was approved by our Ethics Committee, and all workers signed an informed consent form. This initial evaluation consisted of a clinical questionnaire on respiratory symptoms, past medical history, current medication, work history and smoking status, and a physical examination. Spirometry, using the standard ATS criteria (11), was performed, and blood samples were taken. One nonsmoker refused to give blood. The serum samples of the other 12 workers and that of the index case would be used to detect specific antibodies to any potential antigens identified in the peat moss and to measure proinflammatory cytokine levels.

Characteristics of the 13 workers are presented in Table 1. Thirteen control subjects not exposed to this work environment (all hospital workers) were selected to match the workers for age, sex, and smoking history. These control subjects also underwent forced expiratory flow testing and venous blood samplings. The blood sample taken from a control subject replaced that of the worker who refused to give blood, and it was used as a control for the serum of the index case for whom no matched control was selected for the lung function comparisons. This control subject was, as was the index case, a nonsmoker.

Measurement of Specific Antibodies

MaxiSorp Immuno plates (Nunc, Roskilde, Denmark) were coated with 100 µl of 250 µg/ml of total extracts of molds previously isolated from peat moss and incubated overnight at 4° C. The next morning, plates were washed and saturated with 1% bovine serum albumin to block residual protein binding sites of the plate. Specific antibodies in the serum were determined by enzyme linked immunosorbance assay (ELISA). Serum dilutions of 1:500 were used for these measurements. Duplicates of diluted samples were incubated in coated plates and antihuman IgG coupled to peroxydase with ortho-phenylenediamine as the substrate were used. Absorbance was read at 490 nm.

TABLE 1

CHARACTERISTICS OF THE 13 WORKERS WHO ACCEPTED TO PARTICIPATE IN THE STUDY

Subject No.	Age *(yr)*	Smoking Status (cigs/d)	Years of Employment
1	35	1 to 2	10
2	50	1 to 3	15
3	43	0	25
4	34	0	11
5	46	20	29
6	43	25	25
7	45	0	15
8	27	25	4
9	40	0	20
10	35	10	4
11	48	25	10
12	52	35	12
13*	33	0	5

* Subject who refused blood sampling.

Subpopulation Study

Six of the 13 workers evaluated at the plant were selected and further evaluated at our hospital. These workers included the case suspected of having HP at the site visit, three asymptomatic nonsmokers of light smokers with positive antibodies to the molds tested, and two asymptomatic seronegative smokers. These six subjects had chest radiography, HRCT, BAL, and serum cytokine analysis.

Bronchoalveolar Lavage

Under local anesthesia, a fiberoptic bronchoscope was introduced through the mouth into the trachea and wedged into a segmental or subsegmental bronchus. Five 60-ml aliquots of warm *0.9%* saline were instilled and the fluid was gently aspirated after each aliquot. BAL fluids were collected and kept on ice until centrifugation at 500 *g* for 10 min. Cell-free BAL fluid supernatants were aliquoted and frozen at -70° C for cytokine determination. Cells recovered from the BAL were resuspended in RPMI 1640 medium supplemented with 2 mM L-glutamine, 5% heat-inactivated fetal calf serum, and 1% penicillin-streptomycin (all from Canadian Life Technologies Inc., Burlington, ON, Canada). Cells were counted and viability was estimated by trypan blue exclusion. Cell differential counts were performed on Diff-Quik-stained glass-cover preparations (12). Lymphocyte subpopulations were studied by flow cytometry (Epics Elite ESP; Coulter Electronics, Burlington, ON, Canada). Alveolar macrophages (AM) were purified by adherence to plastic. Briefly, AM (1 X 10^6 cells/ml) were plated into a 24-well plate, incubated for 2 h at 37° C/5% CO_2 and gently washed with Hanks' balanced salt solution. Adherent cells were more than 98% macrophages as verified by Diff-Quik coloration. AM were incubated for 24 h in complete RPMI, and the supernatants were collected and frozen at -70° C for further analysis of spontaneous cytokine release.

Cytokine Measurements

Levels of tumor necrosis factor alpha (TNF-α) and interleukin-6 (IL-6) in unconcentrated BAL fluids and sera were assayed by high sensitivity immunoassay kits from R&D Systems Inc., (Minneapolis, MN). *In vitro* release of these cytokines by AM were assayed using conventional kits from the same company.

RESULTS

Results of the microbiologic analyses of different materials used in the plant are given in Table 2. Peat moss was the most heavily contaminated material. *Monocillium* sp. and *Penicillium citreonigrum* were by far the most prevalent molds found. High levels of bacteria were also found. These were of multi-

TABLE 2

NUMBER OF COLONY-FORMING UNITS (CFU) OF DIFFERENT MICROORGANISMS FOUND PER GRAM OF THE DIFFERENT PRODUCTS USED IN THE MIXTURE AND IN THE FINAL PRODUCT ITSELF

	Bacteria ($\times 10^5$ CFU/g)	Actinomycetes ($\times 10^5$ CFU/g)	Molds ($\times 10^5$ CFU/g)
Perlite	0	0	0
Perlite dust and peat	0.04	0	15
Peat	0.28	0	6.6
Vermiculite	0	0	0
Mycomyze	0.3	0	6.8
Natural peat	54	0	480
Final product	0.4	0	3.6

ple colony morphologies. No thermophilic actinomycetes were found.

Beside the index case, one of the workers solicited had clinical signs and symptoms suggestive of HP. He complained of progressive dyspnea, had inspiratory crackles over both lung fields, and had deercased lung functions. His FEV_1 was 62% predicted, and his FVC was 70% predicted.

Lung functions showed that for the group as a whole, excluding the index case, workers had a significantly lower FVC ($p = 0.02$) with a normal FEV_1/FVC ratio, suggesting a restrictive pattern (Figure 1).

Specific serum IgG antibody levels, reported in optical density, to molds found in peal moss are presented in Figure 2. Note that the index case and the subject with a clinical suspicion of HP both had high liters of specific antibodies to *Monocillium* sp. and *Penicillium citreonigrum*. Specific antibodies were also present in the other minimal smoker (two cigarettes per day) and in four of the five nonsmokers. None of the heavy smokers had serum antibodies to these two molds. Specific antibodies were present in only one nonsmoking control subject.

The diagnosis of HP was confirmed in the suspected case. This diagnosis was based on restrictive lung fonctions with decreased DL_{co}, a lymphocytic alveolitis, patchy alveolar infiltrates on HRCT scan, and positive serology to molds contaminating the peat moss. The other five workers evaluated at our institution had normal lung functions, chest radiographs, and HRCT. Results of their cellular BAL findings, along with that of the index case and the other identified case of HP, are presented in Figure 3. Note that the two cases and the asymptomatic workers had an increased proportion of CD8+ lymphocytes (Table 3). One of the two seronegative smokers had too few BAL lymphocytes to measute these subpopulations.

Higher levels of TNF-α and IL-6 were detected in the BAL fluid of the two patients with HP compared with the three asymptomatic subjects with a lymphocytic alveolitis and the two normal seronegative subjects (smokers) studied (Figure 4). Similarly, a fixed number (1×10^6 cells) of AM from the two patients with HP spontaneously secreted higher amounts of TNF-α and IL-6 than AM from the two seronegative subjects. AM from asymptomatic seropositive subjects released intermediary amounts of these inflammatory cytokines (Figure 4).

TNF-α and IL-6 were also measured in the sera of the 13 peat moss workers (the index case and the 12 who accepted this evaluation) and 13 normal unexposed subjects (Table 4). TNF-α was significantly higher in the sera of the exposed workers than in that of the control subjects ($p = 0.01$). No difference in IL-6 levels were detected between the two groups. TNF-α and IL-6 serum levels were higher in patients with HP than in the asymptomatic seropositive and the seronegative smoking workers, but because of the small number of subjects, no significant difference was found.

DISCUSSION

The significance of this report is not just yet another isolated cause of HP. The large proportion of workers with either the disease or sub-clinical manifestation of an immune response to this environment suggests that this workplace may constitute an important risk of HP for a large number of workers. In the province of Quebec alone, more than 700 workers are em-

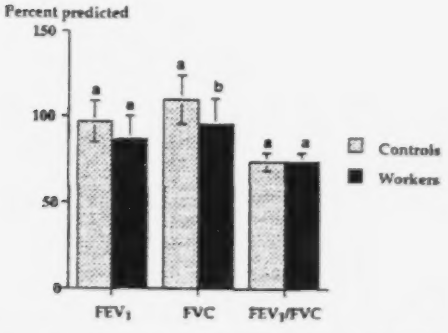


Figure 1. Results (means ± SD) for the FEV_1, the FVC, and the ratio of the two variables for the 13 workers and 13 control subjects. Results are given in percent predicted. For each variable, columns followed by different letters are significantly different. FVC was significantly lower in the workers than in the control subjects ($p = 0.02$, nonpaired test).

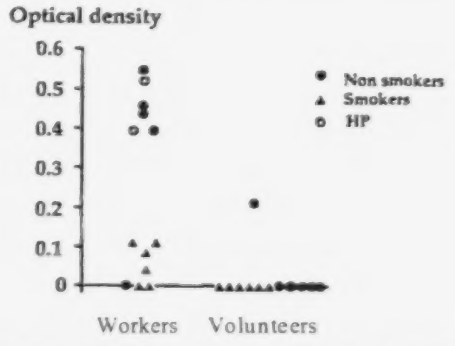


Figure 2. Optical density of the ELISA testing for specific antibodies to *Penicillium* found in peat moss. Individual values are given for the 12 workers who accepted this part of the study, the index case, and 13 nonexposed control subjects. The second highest value was that of the index case. The two minimal smokers *(see text)* are included with the nonsmokers. Note the strikingly lower values in the exposed smokers compared with their nonsmoking coworkers ($p = 0.003$, Fisher's two-tailed exact test).

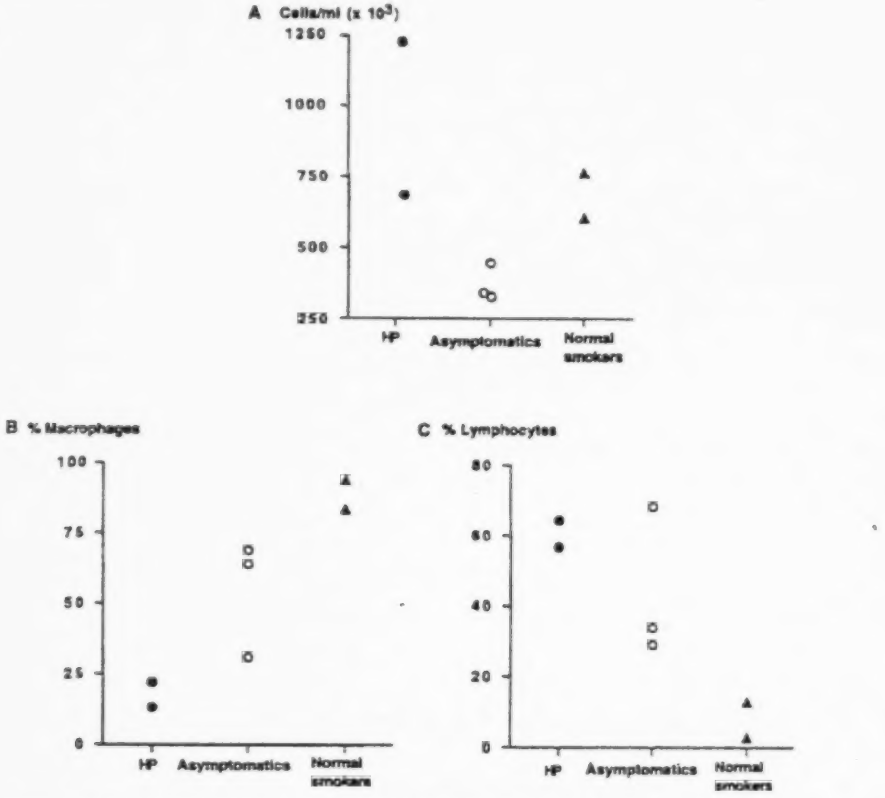


Figure 3. (A) Total number of cells per milliliter of fluid recovered. (S) Percent alveolar macrophages. (C) Lymphocytes in the BAL of the seven workers who had this procedure: the index case and the other worker with HP, three asymptomatic seropositive nonsmokers, and two seronegative smokers.

ployed in similar processing plants as the one evaluated in the current study. In view of our prior results from another plant it is likely that all workers are not equally at risk (5). The risk may vary from 1 yr to another depending on dry weather conditions. Cross-sectional and follow-up studies of larger numbers of workers and different plants and in different countries are needed to establish the global prevalence and impact of HP in the peat moss industry.

TABLE 5

PERCENTAGE OF CD4+ AND CD8+ BAL LYMPHOCYTES AND THE RATIO CD4/CD8 FOR ALL SUBJECTS WHO HAD A BRONCHOALVEOLAR LAVAGE*

Subjects	CD4(%)	CD8 (%)	CD4/CD8
Acute	36.800	47.800	0.770
Subacute	9.000	80.800	0.111
Asymptomatic	18.200	74.000	0.246
Asymptomatic	22.000	73.500	0.299
Asymptomatic	10.000	81.400	0.123
Normal smoker	ND	ND	ND
Normal smoker	25.300	63.500	0.398

* Note that one of the smokers lavaged had insufficient number of lymphocytes for this analysis.

The high prevalence of subjects with evidence of immune response to these two molds (two HP cases, all but one of the nonsmokers or light smokers), and the very high CD8+ proportion of the BAL lymphocytes attest to either the high level of exposure and/or the exquisite immunogenicity of the antigens. CD4/CD8 ratios are usually decreased in the lung lymphocytes of HP (13) and asymptomatic exposed workers who have lymphocytic alveolitis (14).

The cytokine results are consistent with an increased state of activation of AM during the acute or chronic phase of HP. Although no increase of TNF-α and IL-6 was seen in BAL fluid of three asymptomatic workers, cultured AM from these subjects did secrete high amounts of these cytokines *in vitro*. The presence of fewer AM in BAL of asymptomatic subjects could explain why high levels of TNF-α and IL-6 were not found in their BAL fluids. NoTNF-α and IL-6 could be measured in BAL fluid of the seronegative subjects or in the supernatant of cultured AM from the same subjects. These subjects were smokers and their results are consistent with the fact that AM from cigarette smokers are poor producers of inflammatory cytokines such as IL-1,

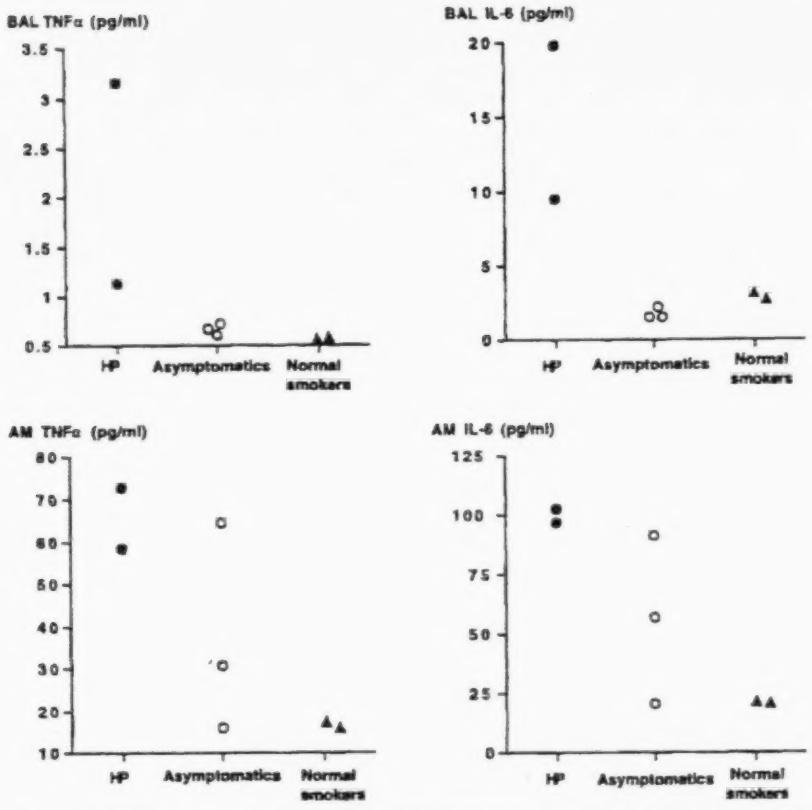


Figure 4. BAL fluid levels of tumor necrosis factor alpha (TNF-α) and interleukin-6 (IL-6) in picograms per milliliter and the spontaneous release of these cytokines by alveolar macrophages for the subjects with hypersensitivity pneumonitis (HP), and the asymptomatic seropositive and seronegative smoking workers.

IL-6, and TNF-α (15). Overall, TNF-α was higher in the sera of the exposed workers than in that of the unexposed normal control subjects, no significant difference was observed for IL-6.

The results of this study are added evidence for the previously described protective effect of cigarette smoking on the immune response to inhaled antigens responsible for HP (16).

TABLE 4

SERUM LEVELS OF TUMOR NECROSIS FACTOR ALPHA (TNF-α) AND INTERLEUKIN-6 (IL-6) FOR THE DIFFERENT GROUPS AND SUBGROUPS OF SUBJECTS STUDIED*

Subjects	TNF-α (pg/ml)	IL-6 (pg/ml)
Workers, n = 13	0.930 ± 0.177	1.84 ± 0.28
Normal control subjects, n = 13	0.350 ± 0.076	1.50 ± 0.48
Acute phase workers, n = 2	1.33 ± 0.6	2.9 ± 0.75
Asymptomatics, n = 3	0.88 ± 0.2	1.94 ± 0.37
Normal workers, n = 8	0.85 ± 0.25	1.53 ± 0.38

* Values are means ± SEM. For the group as a whole, workers had higher levels of TNF-α than did the control subjects ($p = 0.01$). Differences between subgroups of workers did not reach statistical significance

The interest of this observation is not that we should encourage exposed workers to smoke but to use this information to guide studies on the components of cigarette smoke and the mechanisms by which smoking confers such protection.

In conclusion, this study describes a new and potentially important environment where workers are at risk of developing hypersensitivity pneumonitis, identifies the causative antigens, and confirms a protective effect of cigarette smoking.

References

1. Cormier, Y., and M. Schuyler. 1992. Hypersensitivity pneumonitis. *In* Roger C. Bone, editor Textbook of Pulmonary Medicine. Vol. 2, Part M: Interstitial Lung Disease. Mosby-Year Book, St. Louis, MO. *1-9*.
2. Seal, R. M. E., E- J. Hapke, G. O. Thomas, J. C. Meek, and M. Hayes. 1968. The pathology of the acute and chronic stages of farmer's lung. *Thorax* 23: 469-489.
3. Yoshida, K., M. Suga, Y. Nishiura, K. Armia, R. Yoneda, M. Tamura, and M. Ando. 1995. Occupational hypersensitivity pneumonitis in Japan: data on a nationwide epidemiological study. *Occup. Environ. Med.* 52: 570-574.
4. Cormier, Y., A. Mériaux, and G. Brochu. 1988. Microflora of Quebec peat moss. *Can. J. Microbiol.* 34: 131-133.
5. Cormier, Y., L.-P. Boulet, and F. Bérubé-Genest. 1990. Effects of chronic

organic dust exposure on respiratory function and airway responsiveness in peat moss factory workers. *Arch. Environ. Health* 45:20-23.
6. Schroder, K. H., J. Kazda, and H. J. Muller. 1992. Isolation of *Mycobacterium simiae* from the environnent. *Int. J. Med. Microbiol. Virol. Parasitol. Infect. Dis.* 277:561-564.
7. Dixon, D. M., I. F. Salkin, R. A. Duncan, N. J. Hurd, J. H. Haines, M. E. Kemna, and F. B. Coles. 1991. Isolation and characterization of *Sporothrix schenckii* from clinical and environmental sources associated with the largest U.S. epidemic of sporotrichosis. *J. Clin. Microbiol.* 29:1106-1113.
8. Coles, F. B., A. Schuchat, J. R. Hibbs, S. F. Kondrachi, I. F. Salkin, D. M. Dixon, H. J. Chang, R. A. Duncan, N. J. Hurd, and D. L. Morse. 1992. A multistate outbreak of sporotrichosis associated with sphagnum moss. *Am. J. Epidemiol.* 136:475-487.
9. Agger, W. A., and G. M. Seager. 1995. Granulomas of the vocal cords caused by *Sporothrix schenckii*. *Laryngoscope* 95:595-596.
10. Pitt, J. I. 1988. A Laboratory Guide to Common *Penicillium* Species. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, North Ryde, Australia.
11. Crapo, R. O., Chairman, and the Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. 1995. Standardization of spirometry 1994 update. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 152:1107-1136.
12. Laviolette, M., M. Carreau, and R. Coulombe. 1988. Bronchoalveolar cell differential on microscope glass cover. *Am. Rev. Respir. Dis.* 138: 451-457.
13. Costabel, U., K. J. Bross, J. Marxen, and H. Matthys. 1984. T-lymphocytes in bronchoalveolar lavage fluid of hypersensitivity pneumonitis. *Chest* 4:514-518.
14. Yamasaki, H., T. Kinoshita, T. Ohmura, M. Ando, K. Soda, T. Skata, S. Araki, and K. Onoue. 1991. Lowered responsiveness of bronchoalveolar lavage T lymphocytes in hypersensitivity pneumonitis. *Am. J. Respir. Cell Mol. Biol.* 4:417-425.
15. McCrea, K. A., J. E. Ensor, K. Nall, E. R. Bleecker, and J. D. Hasday. 1994. Altered cytokine regulation in the lung of cigarette smokers, *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 150:696-703.
16. Warren, C. P. W. 1977. Extrinsic allergic alveolitis: a disease commoner in non-smokers. *Thorax* 32:567-569.

SANTÉ RESPIRATOIRE DES TRAVAILLEURS DES TOURBIÈRES

QUESTIONNAIRE

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

Date : ___/___/___ (1 Jr Ms An 6)   Numéro : ______ (7 8)

Nom : ______________________ (10)   Prénom : ______________________ (22 31)

Sexe : ___ (32) (M = 1 F = 2)   Âge : ___ (33 34)   Date de naissance : ___/___/___ (35 Jr Ms An 40)

Adresse : ____

Numéro de téléphone : (______) ______ - ________ (41 50)

OCCUPATIONS ACTUELLES ET ANTÉRIEURES

Depuis combien d'années travaillez-vous dans une tourbière ? |____| 51 52

Quel est votre principal poste de travail et le nombre d'heures/semaine passées à chacun des postes à l'intérieur et à l'extérieur ?

	Hres/semaine intérieur	Hres/semaine extérieur
1. tamisage, criblage et moulange	|____| 53-54	|____| 55-56
2. ensachage	|____| 57-58	|____| 59-60
3. empileur	|____| 61-62	|____| 63-64
4. conducteur chariot élévateur (lift)	|____| 65-66	|____| 67-68
5. autres (intérieur) ____________	|____| 69-70	
6. conducteur tracteur aspirateur	|____| 71-72	|____| 73-74
7. autres(extérieur) ____________		|____| 75-76
8. mécaniciens / électriciens	|____| 77-78	|____| 79-80

Nombre d'heures total travaillées par semaine? |____| 81

Combien de semaines/année en moyenne avez-vous travaillé dans la tourbière ? |____| 83

1 = moins de 20 sem.   2 = entre 20 et 40 sem.   3 = plus de 40 sem.

Pendant quelle saison avez-vous travaillé habituellement ?

☐ hiver ☐ printemps ☐ été ☐ automne

Quelles ont été vos occupations antérieures, (autre que dans une tourbière) ?_____

Durant combien d'années ? ___ 84-85

Étiez-vous exposé à un polluant ? 1 = Oui 2 = Non ___ 86
Si oui, lequel ?_____

Nom de l'employeur : _____

Adresse : _____

TABAGISME **1 = OUI** **2 = NON**

Fumez-vous régulièrement la cigarette ? ___ 87

- **Si oui** : - à quel âge avez-vous commencé ? ___ 88 89
  - combien de cigarettes par jour ? ___ 90 91
- **Si non** : - avez-vous déjà fumé régulièrement la cigarette ? ___ 92
  - si oui, à quel âge avez-vous commencé ? ___ 93 94

Depuis combien de temps avez-vous arrêté ? (ans) ___ 95 96

(mois) ___ 97 98

Nombre de paquets-années fumés : ___ 99 100 101
(1 paquet-année - 1 paquet par jour x 1 an)

SYMPTÔMES

1 = OUI 2 = NON

TOUX

- Toussez-vous habituellement le matin **en hiver** ? ⌊___⌋ 102
- Toussez-vous habituellement le matin **en été** ? ⌊___⌋ 103
- Toussez-vous habituellement pendant la journée **en hiver** ? ⌊___⌋ 104
- Toussez-vous habituellement pendant la journée **en été** ? ⌊___⌋ 105
- Toussez-vous la plupart des jours ou nuits au moins 3 mois / an? ⌊___⌋ 106
- Depuis combien de temps avez-vous cette toux ? ⌊___⌋ 107
  1 = moins de 2 ans
  2 = 2 à 5 ans
  3 = plus de 5 ans

EXPECTORATIONS

- Ramenez-vous habituellement des crachats qui viennent de la poitrine en vous levant le matin en hiver ?
  1 = Oui 2 = Non ⌊___⌋ 108
- Ramenez-vous des crachats de la poitrine pendant d'autres périodes de la journée ou de la nuit (autre que le matin) ?
  1 = Oui 2 = Non ⌊___⌋ 109
- Ramenez-vous ces crachats la plupart des jours ou nuits au moins 3 mois par année ?
  1 = Oui 2 = Non ⌊___⌋ 110
- Depuis combien de temps crachez-vous ? ⌊___⌋ 111
  1 = moins de 2 ans
  2 = 2 à 5 ans
  3 = plus de 5 ans

ESSOUFFLEMENT

- Devez-vous diminuer vos activités par rapport à des gens de votre âge, à cause d'un manque de souffle ?
  1 = Oui 2 = Non _112_

  Si oui, depuis combien d'années ? (ans) _113 114_

- Cet essoufflement est-il relié à votre travail ?
  1 = Oui 2 = Non _115_

SILLEMENTS

- Vous arrive-t-il parfois d'entendre des sifflements ou des «siliements» dans la poitrine en respirant ?
  1 = Oui 2 = Non _116_

  Si oui, ces sillements sont-ils reliés à votre travail ?
  1 = Oui 2 = Non _117_

FIÈVRE ET FRISSONS

- Avez-vous parfois présenté, pendant ou après une journée de travail, des frissons ou de la fièvre ?
  1 = Oui 2 = Non _118_

  Si oui, depuis quand ?
  1 = moins de 2 ans
  2 = 2 à 5 ans
  3 = plus de 5 ans _119_

- Avez-vous déjà eu, avec ces frissons, des malaises avec de la difficulté à respirer ?
  1 = Oui 2 = Non _120_

AUTRES PROBLÈMES

- En moyenne, vous faites combien de grippes par hiver ? |___| 121
  1 = 0
  2 = 1 à 2
  3 = 3 à 4
  4 = 5 et plus

- Est-ce que vos problèmes respiratoires actuels |___| 122
  1 = persistent comme avant
  2 = se sont améliorés
  3 = se sont empirés

- Est-ce que les symptômes s'améliorent dès que vous quittez le travail ? |___| 123
  1 = Oui 2 = Non 3 = parfois

- Les symptômes persistent-ils en soirée ou durant la nuit ? |___| 124
  1 = Oui 2 = Non 3 = parfois

- Est-ce que vos symptômes pulmonaires s'améliorent après quelques jours de cessation du travail (ex. : fin de semaine, vacances, etc.) ? |___| 125
  1 = Oui 2 = Non 3 = parfois

  Si oui, combien de jours après ? |___| 126 127

ANTÉCÉDENTS

1 = OUI **2 = NON**

- **Avez-vous déjà fait de l'asthme ?** |___| 128

  Quel âge aviez-vous lors de la première crise ? (ans) |___| 129 130

  Avez-vous eu une crise dans les 12 derniers mois ? |___| 131

  Prenez-vous actuellement des médicaments (incluant des inhalateurs, aérosols, pilules ou sirops) pour votre asthme ? |___| 132

  Si oui, spécifiez le **nom** du médicament et le **nombre de fois** par jour que vous l'utilisez.

  _____

  _____

  _____

  _____

- **Avez-vous déjà fait de la « fièvre des foins » ?** ___ 133

  Si oui, à quel moment de l'année ? **1 = Oui** **2 = Non**

  Printemps (avril - mai) ___ 134
  Été (juin - juillet) ___ 135
  Automne (août à octobre) ___ 136
  Hiver (octobre à avril) ___ 137

1 = OUI **2 = NON**

- **Avez-vous déjà fait d'autres allergies particulières ?** ___ 138

  Si oui, lesquelles ?

- **Avez-vous déjà fait :**

  ➢ de l'eczéma ___ 139
  ➢ de l'urticaire ___ 140
  ➢ de la bronchite chronique ___ 141
  ➢ de l'emphysème ___ 142
  ➢ de la tuberculose ___ 143
  ➢ autre (préciser) _____ ___ 144

- **Est-ce que votre père ou votre mère, ou l'un de vos frères ou soeurs, ou l'un de vos enfants, fait ou a déjà fait :**

  ➢ de l'eczéma ou de l'urticaire ___ 145
  ➢ le rhume des foins ___ 146
  ➢ de la bronchite chronique ___ 147
  ➢ de l'emphysème ___ 148
  ➢ de la tuberculose ___ 149
  ➢ autre (préciser) _____ ___ 150

SANTÉ RESPIRATOIRE DES TRAVAILLEURS DES TOURBIÈRES

Tests cutanés d'allergie

Date : _____

Contrôle		Poussière de maison		Herbes à poux		Pénicillium	
Histamine		D. Farinae		Mauvaises herbes		Aspergillus fumigatus	
Poils de chat		Mélange de graminées		Alternaria		Sphaigne	
Poils de chien		Bouleau		Hormodendrum			
Poils de cheval		Cèdre rouge		Mucor			
Poil de vache		Sapin		Helminthosporium			
Plumes		Épinette					

N.B. : Les résultats sont exprimés en mm d'induration, lus à 10 minutes.

REMARQUES : _____

_____

_____

_____

_____
Signature du médecin

Annexe 2 :Photos des systèmes de dépoussiérage

Photo 1 : Vue d'ensemble des postes d'ensachage

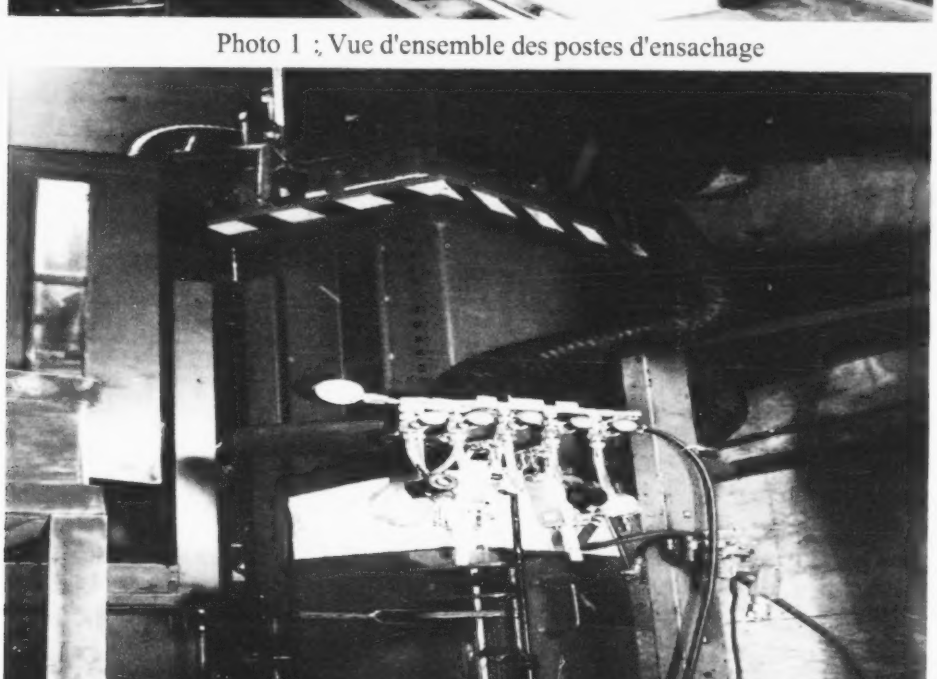


Photo 2 : Capteurs mobiles au poste de remplissage.

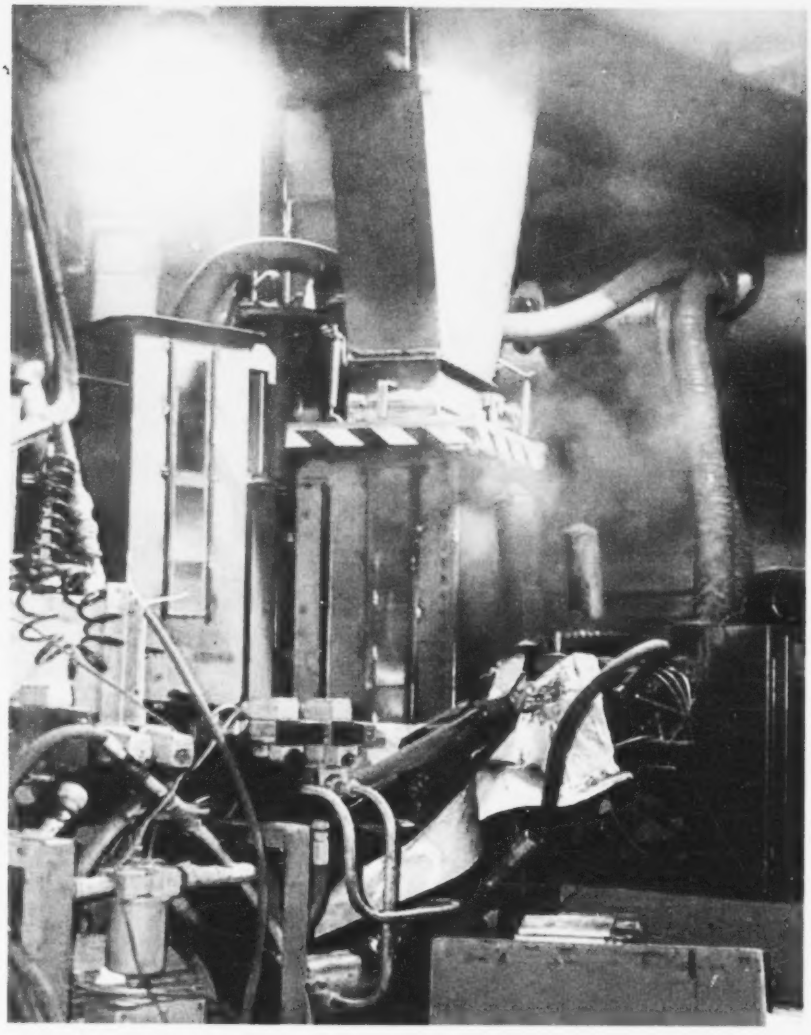


Photo 3 : Émissions sur la partie supérieure lors de l'étape de remplissage

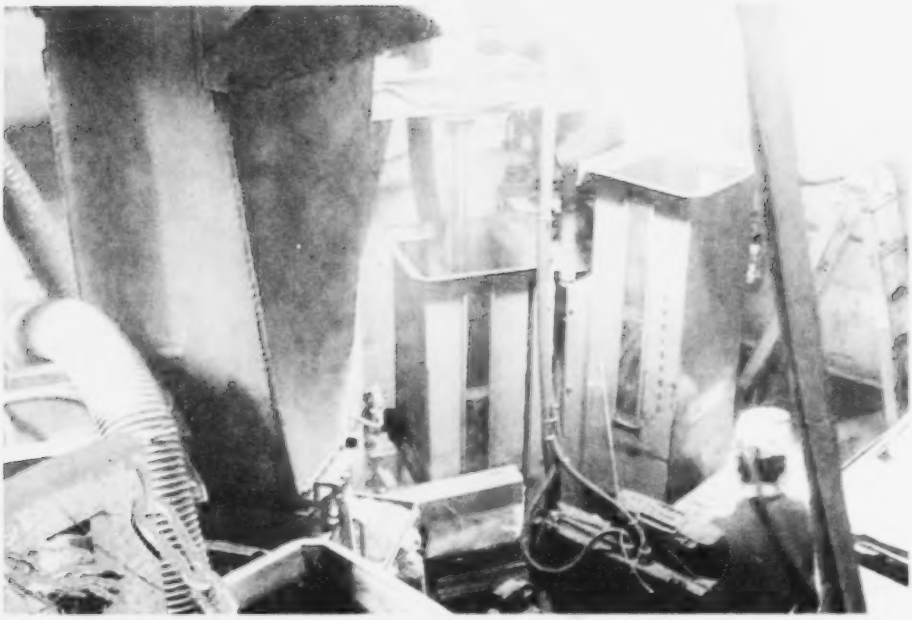


Photo 4 : Capteur localisé sur la partie supérieure de l'enceinte de compactage.

Photo 5 : Presse ensacheuse mécanisée.

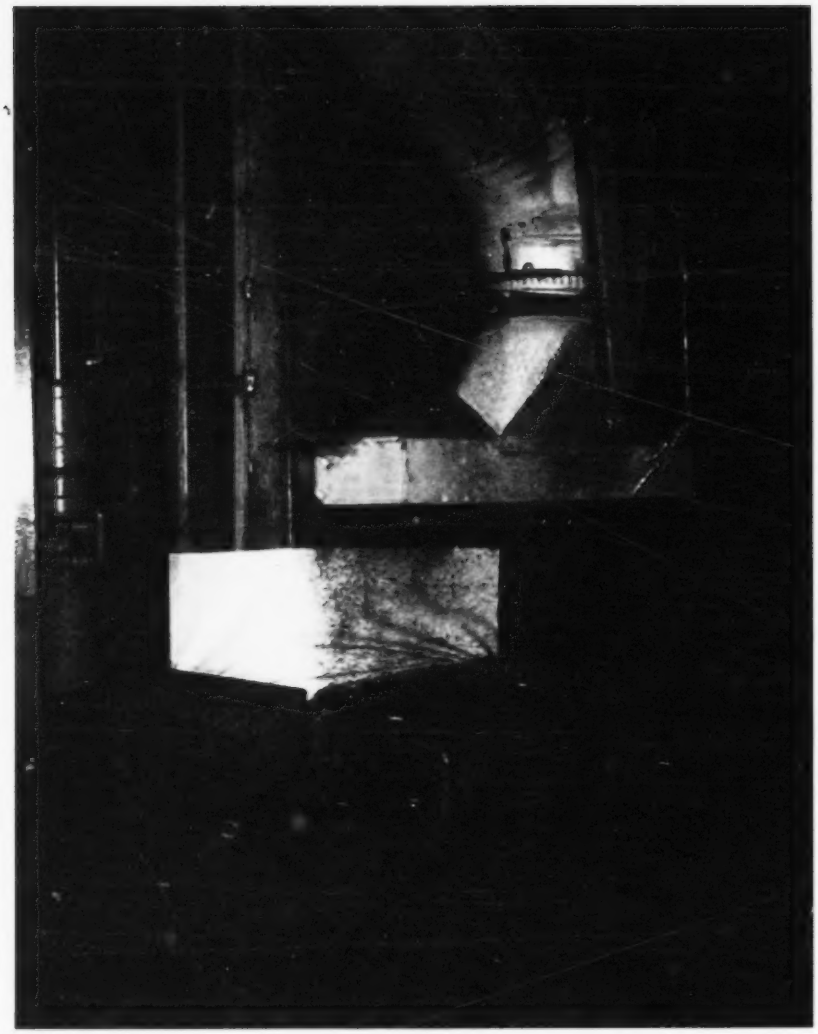


Photo 6 : Captage partiel des émissions.

Photo 7 : Captage partiel des émissions.

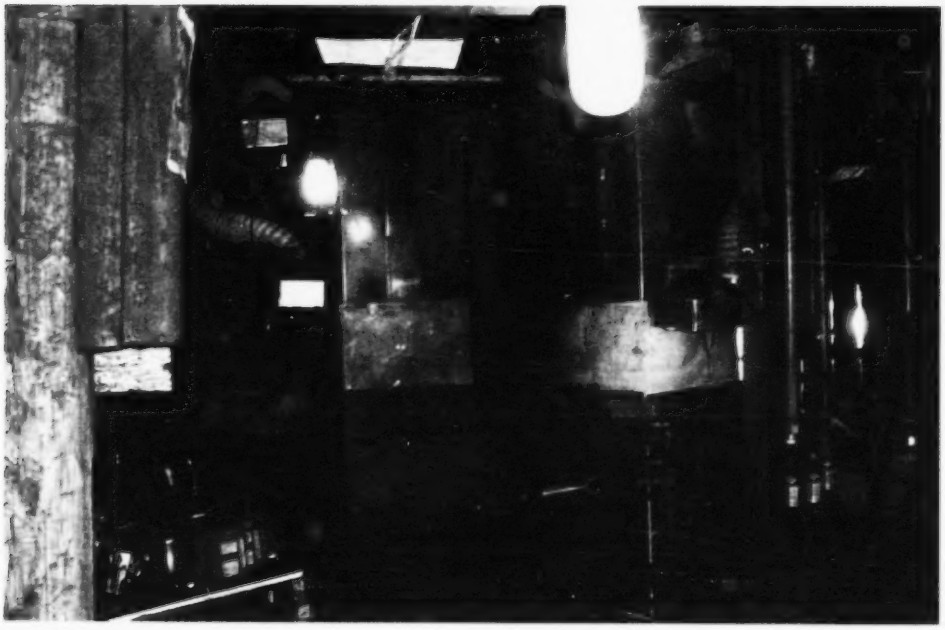


Photo 8 : Presse ensacheuse typique.

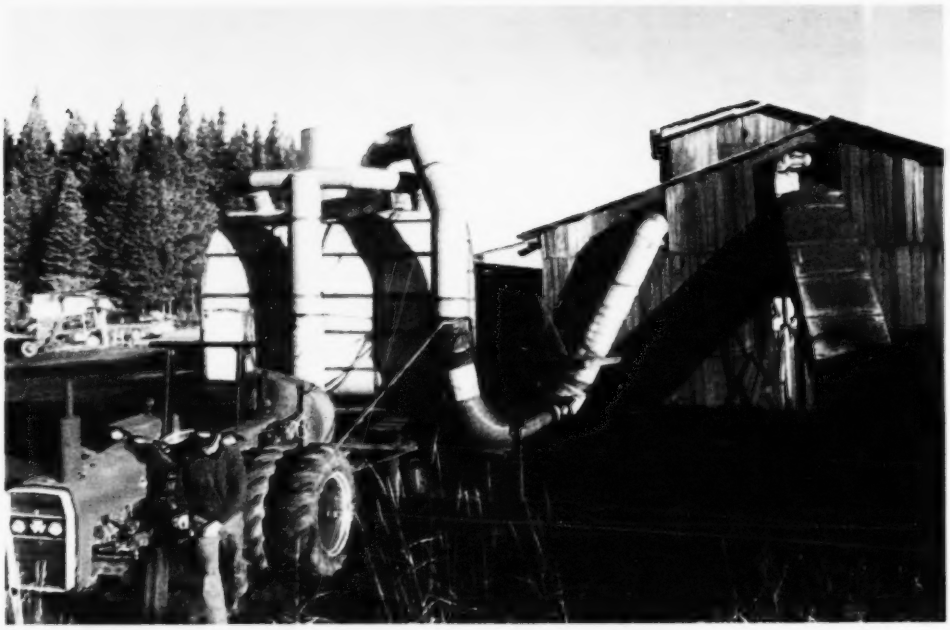


Photo 9 : Système de dépoussiérage.

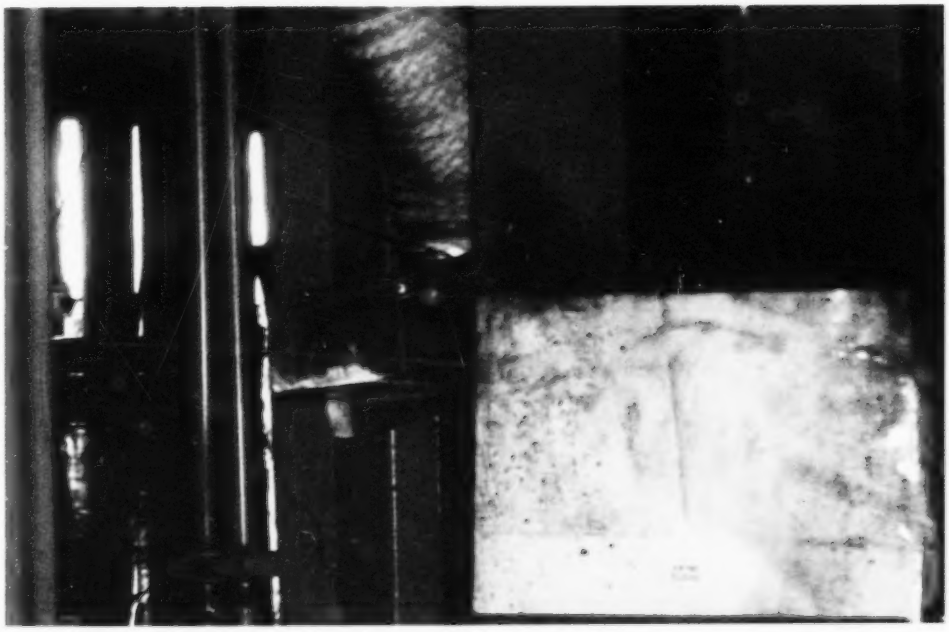


Photo 10 : Captage partiel des émissions.

Photo 11 : Ensacheuse en ballot .

Photo 12 : Presse ensacheuse (non en opération).

Photo 13 : Presse ensacheuse typique

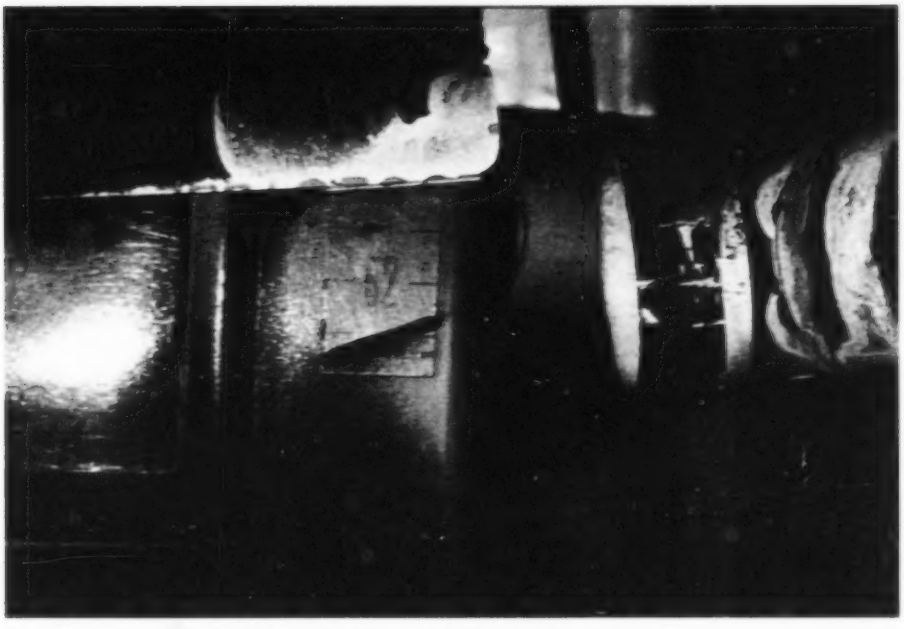


Photo 14 : Zone d'influence du capteur.

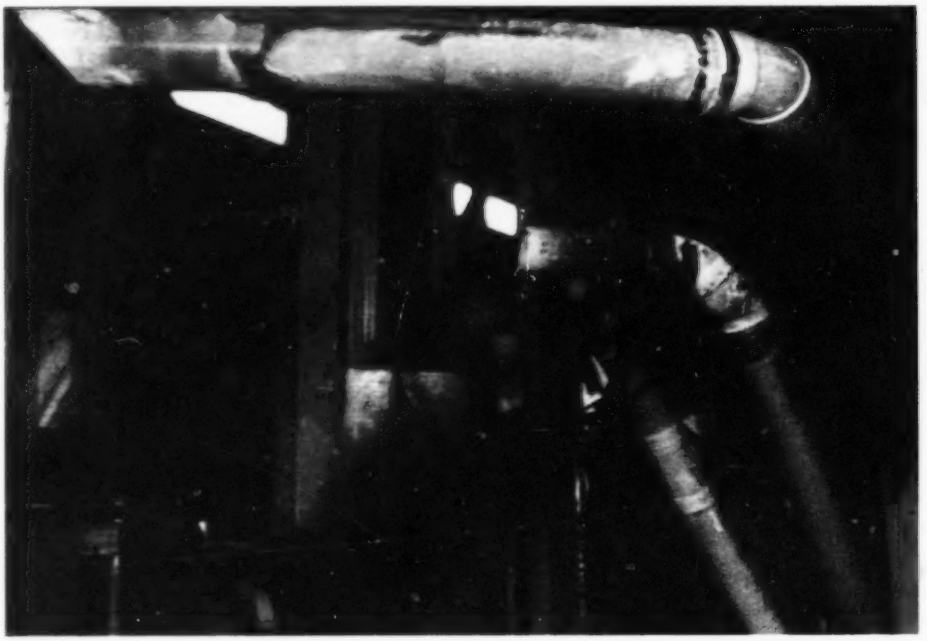


Photo 15 : Captage partiel des émissions.

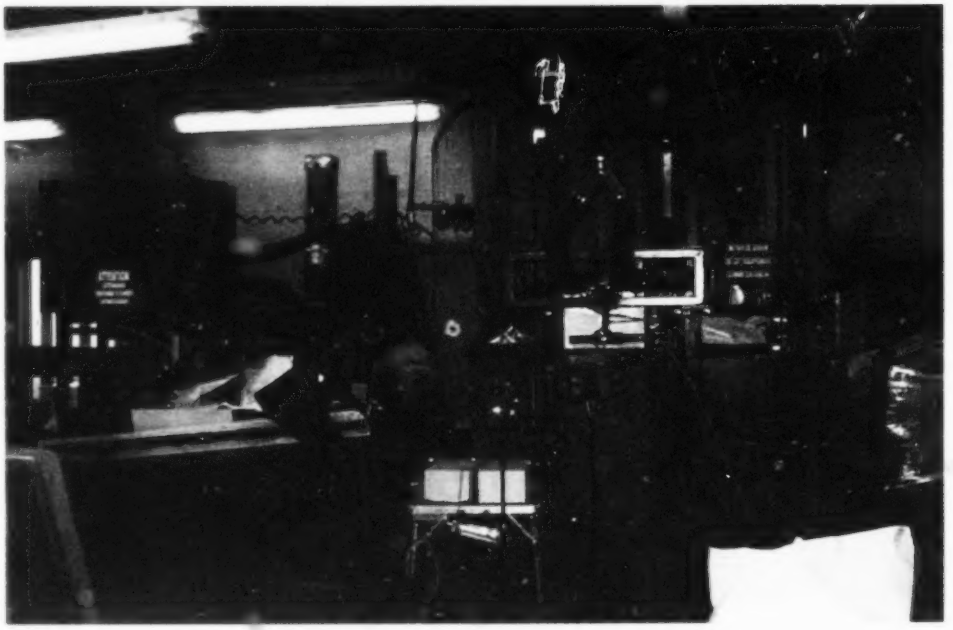


Photo 16 : Presse ensacheuse typique.

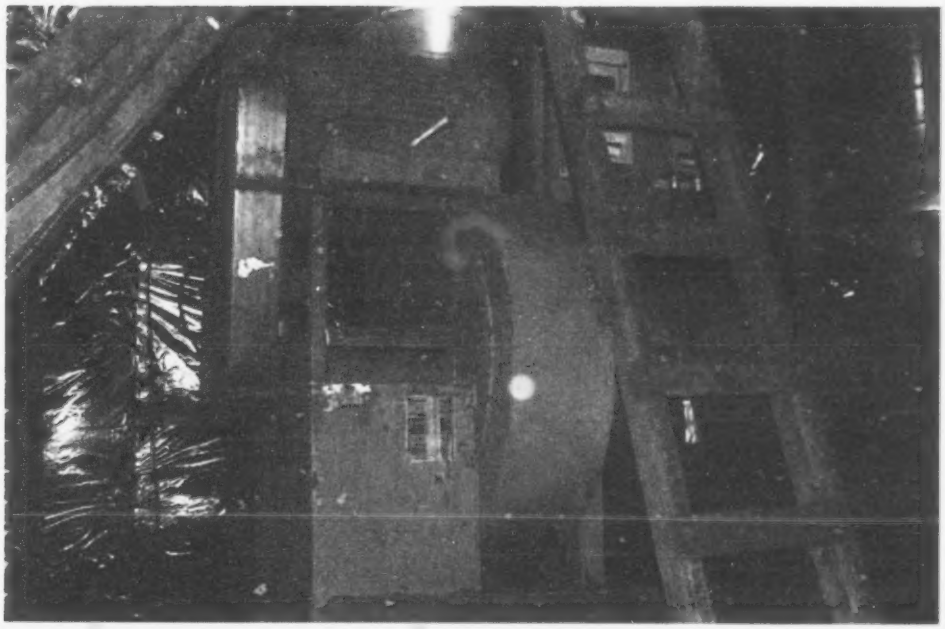


Photo 17 : Accumulation de poussières.

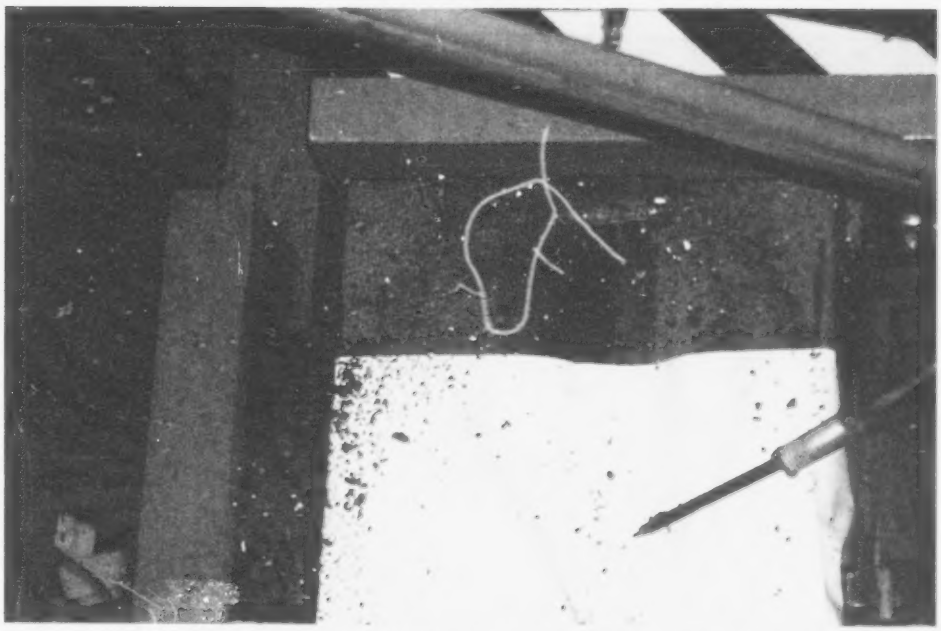


Photo 18 : Captage partiel des émissions lors du compactage.

6 champs de recherche en santé et en sécurité du travail

- Accidents
- Bruit et vibrations
- Équipements de protection
- Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels
- Substances chimiques et agents biologiques
- Troubles musculo-squelettiques

Nos recherches *travaillent* pour VOUS !

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) contribue, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.

POUR EN SAVOIR PLUS...

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.

irsst

www.irsst.qc.ca